



Svartrost, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*,
epidemiologi och bekämpningsstrategier
i Mälardalen



Hulda Wirsén

Handledare: Annika Djurle, SLU
Anna Berlin, SLU

Uppsala, 2010
Examensarbete, 30hp, Avancerad D
Institutionen för skoglig mykologi och patologi
Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU

Svartrost, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*,
epidemiologi och bekämpningsstrategier
i Mälardalen

Stem rust, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*,
epidemiology and control methods
in Mälardalen

Hulda Wirsén

Handledare: Annika Djurle & Anna Berlin
SLU, Institutionen för skoglig mykologi & patologi

Examinator: Jonathan Yuen
SLU, Institutionen för skoglig mykologi & patologi

Utgivningsort: Uppsala, 2010
Sveriges lantbrukuniversitet, SLU
Institutionen för skoglig mykologi och patologi

Utbildningsprogram: Agronomprogrammet Mark/Växt

Kurs: EX0564 Självständigt arbete i Biologi – magisterarbete
Avancerad D, 30hp

Omslagsbild: Svartrostangrepp i Brunnby, Västmanland. Fotograf: Hulda Wirsén 2009

Nyckelord: Svartrost, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, Ug99, bekämpningsrekommendationer, mikroklimat, rasidentifiering

Key words: Stem rust, *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*, Ug99, plant pathogens, control methods, disease progress, microclimate, race identification

Abstract

Stem rust, *Puccinia graminis*, has caused enormous yield losses throughout history which have had significant consequences for oat and wheat production. Today in Sweden stem rust is only reported from rye, oats and wild grasses. Stem rust infections in wheat have become unusual due to the general use of resistant wheat varieties and also due to the eradication of barberry, *Berberis vulgaris*, the alternate host for *P. graminis*. According to international sources, new races of *P. graminis* f. sp. *tritici* will eventually be dispersed from Africa to the northern parts of the world including Sweden. The new race, Ug99, is very virulent even in resistant wheat and can cause enormous yield losses. The aim of this work was to investigate the current epidemiology of stem rust in oats, *P. graminis* f. sp. *avenae*, and identify the most effective control methods against the pathogen in the future, bearing in mind that Ug99 could arrive to Sweden.

This study contains investigations of the development rate of the pathogen in the field, the yield loss it causes, and if there are any differences in susceptibility between oat cultivars. Microclimate in the field was studied as a tool for a rust forecast. Race identification was also done on a set of oat differential lines.

The results from this study show that the development of stem rust in fields is very rapid. This means that even if the first rust infection comes late in the season, the disease can still cause significant yield losses. To be effective, the timing of application of fungicides as a control method is very important. Results from the field trials show that a late treatment yields the best results. Using fungicides as preventive control was shown to be less effective. The basis for the most effective control relies on careful monitoring of the appearance of stem rust.

There are some indications of variation in susceptibility between different oat cultivars; however these indications are not statistically significant. Experiment arrangement and implementation for this type of experiments could be revised in order to better consider stem rust.

Measurements of microclimate are not reliable as a forecasting method. Our experiments show that the temperature and humidity throughout the growing season are favorable for spore germination and development of rust pustles. Rather, stem rust attacks are determined by the occurrence and dispersal of spores.

The race identification was inconclusive. It appears that the gene material in the differential lines contained unknown resistance genes. Only a few races of *P. graminis* f. sp. *avenae* were identified.

In the event that Ug99 appears in Sweden, it is important to consider the role of barberry in the dispersal of *P. graminis*. Preventive measures such as the reintroduction of the barberry eradication law can arrest the dispersal and development of stem rust. As such, the use of fungicides can be decreased when integrated plant protection is applied.

Innehållsförteckning

Abstract	5
1. Introduktion	9
1.1 BAKGRUND	9
1.2 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	9
2. Litteraturgenomgång	10
2.1 HISTORIK	10
<i>2.1.1 Robigus – Rostguden</i>	10
<i>2.1.2 Rost på berberisbuskar</i>	10
<i>2.1.3 Svartröst och berberis i Sverige</i>	10
<i>2.1.3 Nya rasen Ug99 sprider sig över världen</i>	11
2.2 LIVSCYKEL OCH SYMPTOM	12
2.3 TAXONOMI OCH UTVECKLING AV NYA RASER	14
2.4 SPRIDNING	15
<i>2.4.1 Spridning över långa avstånd</i>	15
<i>2.4.2 Spridning och utveckling över kortare avstånd</i>	16
2.5 SKADOR OCH SKÖRDEFÖRLUSTER	17
2.6 BEKÄMPNING	17
<i>2.6.1 Bekämpning utan kemiska preparat</i>	17
<i>2.6.2 Kemisk bekämpning – olika preparat och deras effekter</i>	18
2.7 FÖRSÖKSRESULTAT MELLANSVENSKA FÖRSÖKSSAMARBETET	19
<i>2.7.1 Sortförsök i havre</i>	19
<i>2.7.2 Fungicidförsök år 2004</i>	20
<i>2.7.3 Fungicidförsök år 2005</i>	21
<i>2.7.4 Fungicidförsök år 2006</i>	21
<i>2.7.5 Fungicidförsök år 2007 och 2008</i>	22

3. Material och metoder	22
3.1 FÄLTFÖRSÖK OCH FÄLTARBETE	22
<i>3.1.1 Graderingsmetod i fält</i>	23
<i>3.1.2 Sortförsök</i>	23
<i>3.1.3 Strategi- och rostförsök</i>	25
3.2 RASIDENTIFIERING	26
<i>3.2.1 Sådd av differentiallinjer</i>	26
<i>3.2.2 Inokulering</i>	26
<i>3.2.3 Gradering och rasbestämning</i>	27
4. Resultat	29
4.1 ANGREPPSUTVECKLING	29
<i>4.1.1 Fransåker 2008</i>	29
<i>4.1.2 Fransåker och St Bärby 2009</i>	30
<i>4.1.3 Brunnby 2009</i>	32
4.2 STRATEGI- OCH ROSTFÖRSÖK	33
<i>4.2.1 Strategiförsök 2008</i>	33
<i>4.2.2 Rostförsök 2009</i>	33
<i>4.2.3 Strategiförsök 2009</i>	36
4.1 SORTFÖRSÖK	37
4.4 VÄDER OCH MIKROKLIMAT	38
<i>4.4.1 Mikroklimat Fransåker 2008</i>	39
<i>4.4.2 Mikroklimat Brunnby 2009</i>	40
<i>4.4.3 Mikroklimat Fransåker 2009</i>	41
4.5 RASBESTÄMNING AV SVARTROST	42
5. Diskussion	43
<i>5.1 Utvecklingshastighet hos svartrost i havre</i>	43
<i>5.2 Behandling med fungicider i fält</i>	43
<i>5.3 Olika havresorters mottaglighet</i>	44

<i>5.4 Mikroklimatmätning som prognosmetod</i>	45
<i>5.5 Rasidentifiering av svartrost</i>	45
<i>5.6 Utrötning av berberis</i>	46
<i>5.7 Inför framtiden</i>	47
6. Sammanfattning	48
Tack	49
Referenser	50

1. Introduktion

1.1 BAKGRUND

Svartrost, orsakad av *Puccinia graminis*, har genom historien haft stora konsekvenser för havre-, *Avena sativa*, och veteproduktionen, *Triticum aestivum*, i Sverige och övriga världen då den orsakat stora skördeförkastningar. I Sverige idag förekommer svartrosten främst i havre men även i vissa fall i råg, *Secale cereale*. Svartrostförekomst i vete har inte rapporterats sedan användningen av resistent sortsmaterial började under 1960-talet. Detta även i kombination med det utrotningsarbete som gjordes under 1900-talet av Berberis, *Berberis vulgaris*, som är mellanvärd för svampen. Svartrosten har inte ansetts vara något problem i Sverige då förekomsten i vete inte noteras och de ekonomiska förluster som orsakats av svampen minskat. Inga djupare studier om svartrost har därför gjorts sedan en lång tid tillbaka. Nya raser av *P. graminis* f. sp. *tritici* kan dock leda till att den blir en skördenedsättande patogen av betydelse i framtiden, även på norra halvklotet.

1.2 SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR

Examensarbetets syfte var att studera förekomsten av svartrost i havre och hur utvecklingen ter sig i fält över säsongen. Detta för att i framtiden kunna vidta snabbare och effektivare bekämpningsåtgärder om det skulle ske förändringar i svartrostförekomst och epidemier skulle utbryta.

Frågeställningar för arbetet var:

1. Hur snabb är svartrostangreppets utveckling och vilken betydelse har svartrost för avkastning och kvalitet?
2. Finns skillnader i mottaglighet mellan havresorter?
3. Finns samband mellan angrepp och väder/mikroklimat?
4. Vilket rasspektrum av svartrost finns i havre?

Examensarbetet är utfört i samarbete mellan Institutionen för skoglig mykologi och patologi, SLU och Jordbruksverkets (JRV) växtskyddscentral i Uppsala under 2008 och 2009. Fältstudier utfördes i sortförsök, s.k. strategiförsök och i obehandlade prognosrutor som även ingått i Växtskyddscentralens prognos- och varningsverksamhet. Försök och prognosrutor graderades kontinuerligt för att studera svartrostens angreppstidpunkt och utvecklingshastighet. Angrepp graderades i utvalda sorter i sortförsök som sedan jämfördes med skördedata för att studera eventuella skillnader i mottaglighet. Olika kemiska behandlingsstrategier studerades i strategiförsök i form av jämförelser av preparat, doser och olika behandlingstidpunkter. Mikroklimatmätare placerades i fältförsök och prognosrutor. Mikroklimatdata och väderdata studerades sedan som medel för att kunna förutspå angreppstidpunkt och omfattning av svartrostangreppet. Isolat av svartrost samlades in från sortförsök i fält. En rasidentifiering gjordes på dessa i växthus under hösten 2009. Målgruppen för arbetet är forskare, växtodlingsrådgivare eller andra intresserade inom området växtpatologi och växtodling.

2. Litteraturgenomgång

2.1 HISTORIK

2.1.1 Robigus - rostguden

De viktigaste grödorna för människans överlevnad genom tiderna har varit spannmål och vissa bönor (Agrios, 2005). Familjer odlade ofta samma grödor år från år och använde därtill även sitt eget utsäde. Detta ledde allt som oftast till problem med växtpatogener vilket resulterade i missväxt och hunger. Mjöldagg och andra växtsjukdomar omnämns redan år 750 f. Kr i gamla testamentet. Beskrivningar finns här också av fläckar, troligtvis rostpustlar, som gjorde grödorna svaga och tog de näringsämnen och vatten som skulle ha fyllt kärnorna vilka istället återstod tomma (Agrios, 2005). Senare skriver Aristoteles (384-322 f.Kr.) att rost är en produkt av högtryck och att rostepidemiären var förödande. En grekisk filosof vid namn Theroprastus (300 f.Kr) konstaterade även att rost var vanligare på spannmål än baljväxter (Roelfs *et al.*, 1992). Många gånger beskrivs växtsjukdomar och missväxt som ett straff från gud. Omkring år 300 f.Kr rådde svår svält i Romarriket orsakad av rost (Agrios, 2005). En ny gud kallad Robigus skapades (Zadoks, 1985). För att tillfredsställa Robigus tillbad och offrade romarna till honom så att han skulle skydda dem mot rosten. Romarna hade även en helgdag, den 25 april, tillägnad Robigus, som kallades Robigalia (Zadoks, 1985). Under Robigalia offrades röda hundar, rävar och kor för att Robigus skulle skydda grödorna från rostangrepp (Zadoks, 1985; Agrios, 2005).

2.1.2 Rost på berberisbuskar

Redan år 1660 uppmärksammade franska bönder att det fanns ett samband mellan rost och berberisbusken. Bönderna konstaterade att rostangrepp på vetet var mer omfattande i närheten av berberisbuskarna vilket fick dem att tro att busken utvecklade rosten som sedan flyttade över till vetet. Bönderna ville då lagstadga avverkning av alla berberisbuskar för att minska spridningen (Agrios, 2005). Ungefär vid samma tid, år 1667, studerades de första rostsporer av Hooke under mikroskop i England (Agrios, 2005). Där framfördes klagomål under 1700-talet om berberisbuskens skadlighet för grödorna (Lantbruksstyrelsen, 1975). År 1776 presenterade italienarna Fontana och Tozzetti den första tydliga detaljerade rapporten om svartrost (Singh *et al.*, 2006). Svartrostsvampen fick namnet *Puccinia graminis* år 1797 av Persoon (Roelfs *et al.*, 1992). Det taxonomiska begreppet *forma specialis* myntades av en svensk växtpatolog vid namn Jakob Eriksson år 1894 (Schafer *et al.*, 1984). *Forma specialis* är en indelning av svampen med mottaglig värd som grund.

År 1804 härjade en rostepidemi i hela norra Europa (Lantbruksstyrelsen, 1975). I nordvästra Europa och delar av Amerika instiftades lagar redan innan amerikanska revolutionen för att säkra utrotning av berberisbuskarna (Vanderplank, 1963). År 1916 orsakade svartrosten enorma skördeförluster i Amerika och ett gediget arbete med att ta bort berberisbuskar startade (Vanderplank, 1963). E. C. Stakman var en hängiven forskare i Amerika som intresserade sig speciellt för källan och spridningen av det inokulum som orsakade epidemierna år 1904 och 1916 (Schafer *et al.*, 1984). Hans studier indikerade på berberisbusken som källa till svartrostens inokulum och han deltog själv i de kampanjer som hölls för utrotning av busken (Schafer *et al.*, 1984).

2.1.3 Berberislagstiftning i Sverige

I Sverige bekämpades berberisbusken, *Berberis vulgaris*, från år 1918 med stöd av svensk lagstiftning. Lagen omarbetades flertalet gånger under det sekel som gått för att år 1994 avvecklas (Regeringskansliet, 1994).

Lagstiftning gällande berberis diskuterades första gången vid 1890 års riksdag efter kraftiga angrepp av svartrost år 1889 (Lantbruksstyrelsen, 1975). Motionen år 1890 avslogs men de svenska patologerna Ericsson och Henning fick stora ekonomiska bidrag till sin forskning där de studerade svampen närmare. Under åren 1908 och 1909 rapporterades från Malmöhus län starka angrepp av svartrost. En ny motion lämnades in år 1909 vid hushållningssällskapens ombudsmöte gällande lagstiftning för berberisbuskens utrotande, men även den avslogs. År 1915 lämnade Malmöhus läns hushållningssällskap in en ny skrivelse med vetenskapliga bevis på det direkta sambandet mellan berberisbuskens förekomst och svartrostangreppets omfattning. År 1916 angreps vetet svårt av svartrosten i mellersta Sverige. Det kraftiga angreppet resulterade till slut i en lag år 1918 om "utrotande av berberisbuskar å viss mark". Ändringar av berberislagen har därefter gjorts år 1933, 1944, 1959, 1967 och 1976 (Lantbruksstyrelsen 1975; Karltorp, 1986).

År 1951 förekom kraftiga svartrostangrepp i hela Skandinavien. I Danmark beräknades en skördeminskning på 7-8 procent i vetet som resultat av rostangreppen och på Bornholm noterades upp till 40 procent i skördeförlust. I Norge kom angreppen sent och sporer tros ha spridits via vindarna från Sverige och de danska öarna. I Finland drabbade svartrosten vårvetet värst. Skadorna här var svåra att bedöma då grödorna även drabbats av svår torka (Lantbruksstyrelsen, 1975). Svartrosten i Sverige slog hårt och oväntat och anlände troligtvis via de sydostliga vindarna från Polen och dåvarande Östtyskland (Åkerman & Mac Key, 1952; Lantbruksstyrelsen, 1975). Till följd av dessa kraftiga angrepp startades ett omfattande arbete med resistensförädling i vete (Lantbruksstyrelsen, 1975). De kraftiga angreppen bidrog till att sortförsöken visade mycket tydliga skillnader i resistens mellan vetesorter (Åkerman & Mac Key, 1952).

År 1991 föreslog Lantbruksstyrelsen genom Växtskyddsenheten Jordbruksdepartementet att upphäva berberislagen och att svartrost skulle bekämpas med stöd av växtskyddslagen (1972:318), dvs med hjälp av pesticider direkt i fält (Karltorp, 1991). Detta grundades på enighet hos tillfrågade remissinstanser år 1987 som ansåg att berberislagen skulle upphävas. Remissinstanserna bestod av Lantbrukarnas riksförbund (LRF), Hushållningssällskapens förbund, Trädgårdsnäringsens riksförbund (TRF), Svalöf AB, Institutionen för växt- och skogsskydd och Konsulentavd/växtskydd vid Sveriges lantbruksuniversitet. Konsulentavdelningen/växtskydd, SLU, menade att man skulle kunna bekämpa rosten i fält med fungicider och att genom den prognos- och varningsverksamhet som byggdes upp ansåg man kunna räkna med att upptäcka epidemier på ett tidigt stadium (Karltorp, 1991). Berberislagens avskaffande fick laga kraft 1994 (Regeringskansliet, 1994).

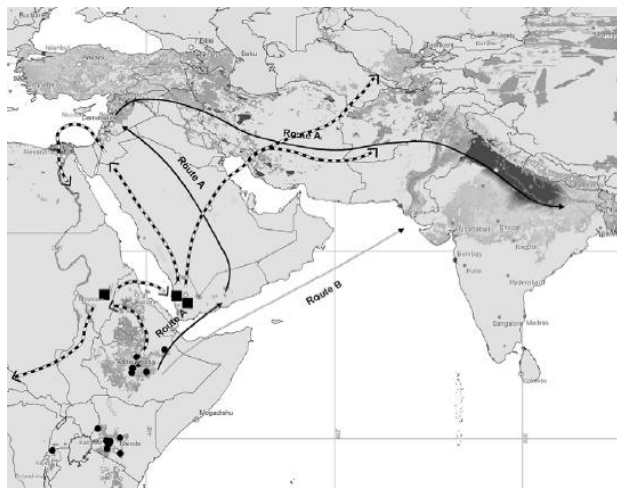
2.1.4 Nya rasen Ug99 sprider sig över världen

I början av 1900-talet demonstrerades arvarbarheten för rostresistens enligt Mendels lag vilket innebär gen-för-gen resistens (Singh *et al.*, 2006). En omfattande arbete lades därefter ner för att identifiera resistensgener mot svartrost för att sedan förädla fram resistent vete. Lösningen var genmaterial från råg i form av resistensgen *Sr31*, som används i flera vetesorter än idag (Kolmer, 2005). Resistensgenerna har varit till stor hjälp i många år och är det fortfarande i många delar av världen (Singh *et al.*, 2008).

År 1998 observerades allvarliga angrepp av svartrost i Uganda (Singh *et al.*, 2008). En ny ras av *P. graminis* f.sp. *tritici*, kallad Ug99 eller TTKS (Singh *et al.*, 2006) som visade sig virulent mot gen *Sr31*, påträffades (Singh *et al.*, 2008). En liknande ras, virulent mot resistensgen *Sr24*, hade tidigare påträffats år 2006 i Kenya (Singh *et al.*, 2008). Ug99 noterades därefter i Kenya och Etiopien år 2005, i Sudan och Jemen år 2006 och i Iran år 2007. Mutation följd av selektion är de viktigaste evolutionära processerna för rostschampens genetiska förändring. Dessa processer resulterade i svartrostrasen Ug99 som är en mycket virulent ras vilken kan angripa tidigare rasspecifikt resistent spannmål (Singh *et al.*,

2008). Förekomst av nya raser är mer vanlig på platser där sexuell reproduktion är ovanlig (Agrios, 2005). Det afrikanska höglandet är en välkänd plats för evolution och spridning av nya rostraser. Klimatet och förekomsten av värdväxter året runt bidrar till en snabb utveckling och förökning av nya raser via sekundär spridning. Ug99, TTKS, har därför kraftigt kunnat expandera och har sedan stegvis spridit sig via syd-östliga vindar norrut. Det observerade spridningsmönstret stämmer överens med vad som tidigare förutspått med hjälp av vindriktningar och den stegvisa spridningsmodellen, spridningsform tre (se sida 15). Den exakta spridningsvägen är okänd men det sydvästliga monsunsystemet är också en möjlig spridningsväg vilket skulle kunna förklara förekomsten av Ug99 i sydöstra och östra Etiopien och östra Sudan/Eritrea/norra Etiopien. Mellanöstern och Asien (exklusive Kina) är möjliga områden för vidare spridning av Ug99 och omfattar 50 miljoner hektar vete. Det motsvarar 25 procent av världens veteareal. En miljard människor lever inom detta produktionsområde. (Singh *et al.*, 2008).

Norra Europa och Sverige anses också vara möjliga spridningsområden enligt de spridningsmodeller som används. Ug99 har noterats vara mer virulent även vid lägre temperaturer än de vanliga nordamerikanska raserna av *P. graminis* f. sp. *tritici* (Rouse & Jin, 2009). Studier har visat att Ug99 även är virulent mot vissa kornsorter i Nordamerika med resistensgen *Rpg1* (Fetch *et al.*, 2009).



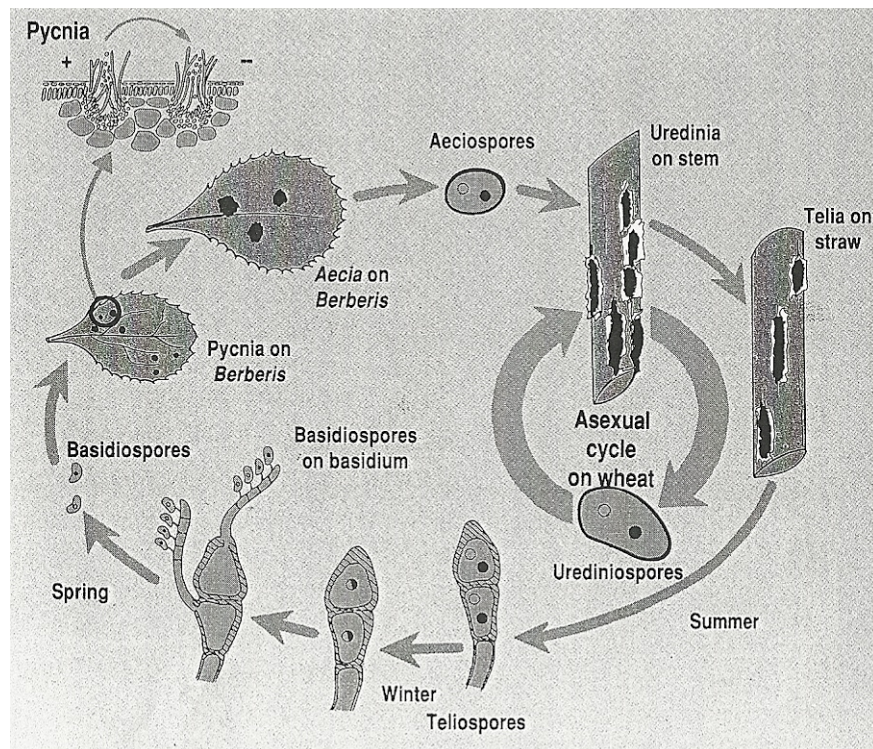
Figur 1. Förväntad spridningsbild av Ug99, TTKS, baserad på gulrostens spridningsvägar (Singh *et al.*, 2008).

2.2 LIVSCYKEL OCH SYMPTOM

P. graminis är en obligat biotrof svamp med fem sporstadiet i sin livscykel (Figur 2) (Leonard & Szabo, 2005). Den sprids både i sexuell fas, primärspridning, och i asexuell fas, sekundärspridning. Svampen övervintrar i kalla klimat som teliosporer och i milda klimat även som urediniosporer. Den sexuella reproduktionen sker på berberisbusken, *Berberis vulgaris*, som är svampens mellanvärd (Leonard & Szabo, 2005). De svampar som fullföljer sin livscykel med hjälp av mellanvärdar kallas heteroika svampar (Agrios, 2005).

De första symptomen som kan studeras i fält under växtsäsongen är de rödbruna sommarsporerna, urediniosporerna, som sitter i uredinium (Figur 3 och 5) (Agrios, 2005). De uppträder ofta sent på odlingsäsongen, juli-augusti, i Sverige och är formade som elliptiska pustlar, främst på strået men även ibland på blad och ax eller vippa. Angreppet sprider sig och utvecklas i fält som följd av den sekundära spridning som sker med urediniosporerna vilka sedan gror på nytt växtmaterial (Agrios, 2005). Urediniosporerna kräver fri tillgång på fukt/vatten under 1-3 timmar och en temperatur mellan 2 och 30°C för att kunna gro (Tabell 1). Optimum ligger mellan 15 och 24°C (Roelfs *et al.*, 1992). När sporer gror tar de sig in i växten via stomata. Cirka 8-10 dagar efter inokulering produceras ett nytt

uredinium. Epidermis spricker och trycks bakåt medan nya urediniosporer kommer fram som ett rödbrunt, rostliknande, puder (Agrios, 2005). Svampen tillväxer snabbt vid temperaturer mellan 10-30°C (Roelfs *et al.*, 1992). I takt med att sporena blir fler växer pusteln i storlek. Sekundär spridning av urediniosporer kan pågå tills grödan mognar och teliosporer bildas. Då finns inte längre något grönt växtmaterial att tillgå.



Figur 2. Livscykel för svartröst, *Puccinia graminis* (Roelfs *et al.*, 1992)

Efterhand övergår sporens rödbruna färg till svart. De svarta sporena är teliosporer (Figur 4 och 5) och de övervintrar sedan på halmrester i fält (Agrios, 2005). Teliosporerna har tjocka väggar och agerar som vilosporer. Varje teliospor har två haploida kärnor. På våren gror en eller två av teliosporernas celler och på den utväxande hyfen bildas basidiosporer (Leonard & Szabo, 2005). Här sker meios vilket resulterar i fyra haploida kärnor som från början är åtskilda med tre septa (Leonard & Szabo, 2005). Varje enskilt basidium omfattar till slut fyra basidiosporer. Dessa sporer sprids med vinden (Agrios, 2005).

På berberisbuskens unga blad gror basidiosporerna direkt in i bladets celler och bildar under 3-4 dagar ett spermagonium. I spermagoniet produceras en vätska som attraherar insekter. Insekterna sprider sedan spermatier mellan olika spermagonier och två svampindivider bildar då en ny svampindivid. Detta kan även ske med hjälp av regnvatten eller droppande dagg. Svampens mycel växer sedan intercellulärt till bladets undersida där det utvecklas ett aecium. Rosten uppträder visuellt på busken på bladets undersida som små gulorangea skålformade formationer och kallas skålrost. I dessa skålar producerar svampen aeciosporer (Agrios, 2005). Det är bara de unga bladen på berberisbusken som kan bli angripna av skålrost, då bladen blir mindre mottagliga när de blir äldre. Äldre blad har en tjockare kutikula och det är då svårare att tränga igenom bladcellerna för sporens hyfer (Leonard & Szabo, 2005). Aeciosporerna sprids sedan med vinden till fält med värdväxter, såsom olika gräsarter och cerealier, där de gror via värdplantans stomata för att sedan producera nya pustlar med urediniosporer (Agrios, 2005).



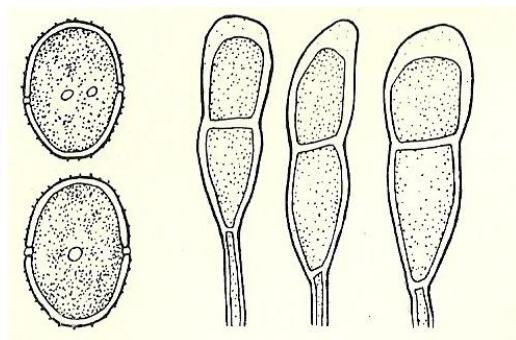
Figur 3. Bruna urediniosporer på havreplantor i fält. Foto: Wirsén 2009



Figur 4. Svarta teliosporer på havreplantor i fält. Foto: Wirsén 2009

Tabell 1. Mikroklimatförutsättningar för groningen och tillväxt av urediniosporer (efter Roelfs et al., 1992).

Fas	Minimum temp.	Optimum temp.	Maximum temp.	Ljustillgång	Vattentillgång
Groning	2	15-24	30	Låg	Nödvändig
Appressorium		16-27		Ingen	Nödvändig
Penetrering	15	29	35	Hög	Nödvändig
Tillväxt	5	30	40	Hög	Ingen
Sporulering	15	30	40	Hög	Ingen



Figur 5. Urediniosporer och teliosporer av *Puccinia graminis* (Blumer, 1963).

2. 3 TAXONOMI OCH UTVECKLING AV NYA RASER

P. graminis tillhör fylum *Basidiomycota*, klass *Urediniomycetes*, ordning *Uredinales* och familj *Pucciniaceae* (Leonard & Szabo, 2005). De flesta rostsvamparna, *Puccinia*, är specialiserade biotrofer som endast angriper vissa grupper eller sorters värdväxter (Agrios, 2005). *P. trititica* som orsakar brunrost i vete och *P. recondita* som orsakar brunrost i råg är två exempel (Leonard & Szabo, 2005). Morfologiskt identiska rostsvampar kan också angripa olika värdväxter. *P. graminis*, har flera värdar såsom vete, havre, råg och andra mindre gräsarter - både vilda och odlade. *P. graminis* är uppdelad i artspecifika grupper kallade *formae speciales* efter vilken värdväxt svampen angriper. De *formae*

speciales som angriper vete respektive råg kan korsas med varandra men det finns ingen eller mycket liten fertilitet mellan någon av dem och den *forma specialis* som angriper havre (Leonard & Szabo, 2005). Exempel på olika *formae speciales* av svartrost är *P. graminis* f. sp. *tritici* som angriper vete och *P. graminis* f. sp. *avenae* som angriper havre (Agrios, 2005).

Teliosporerna har två haploida kärnor (Leonard & Szabo, 2005) och i samband med meios uppträder nya kombinationer av det genetiska materialet (Agrios, 2005). Ett rostisolat av samma *forma specialis* insamlat från fält kan innehålla flera olika raser. Raserna förekommer inte naturligt i renkultur (Blumer, 1963). Nya rostraser utvecklas och tillväxer mycket snabbt på platser som det afrikanska höglandet där liten sexuell reproduktion sker. Klimatet och förekomsten av värdväxter året runt bidrar till en snabb utveckling och förökning av de nya raserna. Här förekommer också fler rasspecifika patogener (Singh *et al.*, 2008). Vid uppodling av enskilda raser kan rasen och resistensen ge olika uttryck beroende av temperaturen (Fetch, 2006). Vid jämförelse av resistens vid användning av de Nordamerikanska differentiallinjerna för havre bör en temperatur på 18°C användas för att säkra ett stabilt uttryck mellan resistensgenerna. Temperaturen kan vara avgörande för fysiologisk rasidentifiering av rost (Fetch, 2006).

Flera hundra raser av *P. graminis* är kända idag och nya raser påträffas varje år (Agrios, 2005). Ett exempel är populationen av *P. graminis* f. sp. *avenae* i Nordamerika som har påvisat förändringar i och med de nya raserna NA67 och NA76 (Fetch, 2006). Dessa två nya raser är virulenta på alla kommersiellt odlade havresorter i Kanada. År 2002 orsakade raserna en mindre epidemi vilket motsvarade 12 miljoner CAD i förlust (Fetch, 2006).

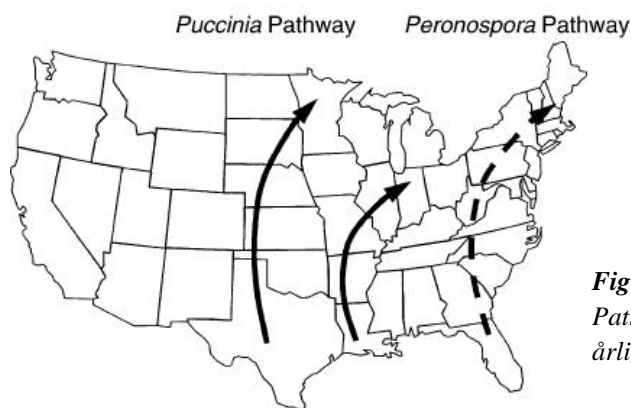
2.4 SPRIDNING

2.4.1 Spridning över långa avstånd

Spridning av växtpatogener sker på flera sätt exempelvis via vatten, med hjälp av vektorer eller via vind. Långdistansspridning (LDD – Long Distance Dispersal) är för många patogener en viktig överlevnadsstrategi för att kunna spridas till nya områden eller mellan säsonger (Brown *et al.*, 2002). För rostsvampar är LDD en viktig spridningsstrategi. Sporererna kan med hjälp av vinden spridas flera hundra kilometer (Wingen *et al.*, 2007). Hos rostsvampar är det främst urediniosporerna som sprids via LDD (Agrios, 2005) vilket orsakar spridning både på kontinental men också global skala. En förutsättning är dock att värdväxter finns tillgängliga. När värdväxter odlas på stora ytor och med begränsad diversitet (monokultur), vilket är fallet hos moderna jordbruksgrödor, finns en stor risk för global spridning. Större biodiversitet i grödmaterialet minskar spridningsrisken (Brown *et al.*, 2002).

Spridning över kortare sträckor har tidigare mest diskuterats då det är lättare att studera. Med bättre undersökningsmetoder har intresset ökat för LDD under de sista 15 åren (Wingen *et al.*, 2007). Tre former av LDD diskuteras. *Den första* formen är en-steps-spridning då spridningen sker över extremt långa distanser. Resultatet är spridning till nya områden mycket långt borta. Spridningsformen är relativt ovanlig men har bevisligen kunnat påvisas flertalet gånger med rostsvampar, exempelvis för *P. striiformis* som orsakar gulrost (Singh *et al.*, 2008). *Den andra* formen är en snabb expansion av en patogen inom ett land eller område/region (Brown *et al.*, 2002). Den här spridningsformen anses vara den vanligaste för rostsvampar (Singh *et al.*, 2008). *Den tredje* formen kännetecknas av en stegvis spridning över längre sträckor och återfinns ofta i områden där svampen inte kan överleva under vissa perioder på året. Ett exempel på det är ”Puccinia pathway” i Nordamerika (Figur 6). Svartrostsvampen överlever vintertid i Mexiko och transporteras sedan med de sydliga vindarna till de norra delarna av

kontinenten under växstsäsongen (Singh *et al.*, 2008). Nyare studier föreslår dock att all LDD spridning sker med samma spridningsform (Brown *et al.*, 2002).



Figur 6. Spridning av rost med *Puccinia* Pathway i USA. Spridning sker norrut årligen över säsong (Aylor, 2003).

Spridningsbilden för rostsvamparna kan beskrivas som en våglik rörelse med spridning av konstant hastighet. Rost har en konstant sporproduktion per infekterad yta och en konstant utsöndring av sporer per planta (Scherin, 1995). Stora mängder av urediniosporer produceras under växstsäsongen och nya värdplanter smittas kontinuerligt (Singh *et al.*, 2008). Modellarbeten har visat att fronten av det smittade området expanderar radiellt och med en konstant hastighet, från det att smittan noterats, men även under förutsättning att sjukdomsgradienten inte ändras över tid. Det finns dock inga vetenskapliga försöksresultat som bekräftar att sjukdomsvågen rör sig med en konstant hastighet. Motsatsen verkar mer relevant sett utifrån "the turbulent diffusion theory". Det som styr spridningen av vindburna patogener är atmosfärisk turbulens av olika slag (Scherin, 1995). LDD har en mer slumpmässig rörelse och spridning kan endast ske under förutsättningar att det finns värdväxter att tillgå (Brown *et al.*, 2002).

Det är svårt att studera spridningen av LDD-patogener. Fynden är ovanliga och angreppens styrka och lokalisering är ofta helt okända, så därför finns ett stort mörkertal (Viljanen-Rollinson *et al.*, 2007; Isard *et al.*, 2006). Tidigare arbetades det mycket med modeller för att studera spridningen teoretiskt (Scherin, 1996). En studie gjord nyligen visade att spridning av gulrost, *P. striiformis*, stämde överens med en exponentiell spridningsmodell om tillräckligt många sporfällor användes (Wingen *et al.*, 2007). Det är viktigt att komma ihåg skillnaden mellan spridningsgradient och sjukdomsgradient.

Spridningshastigheten hos olika växtpatogener kan variera mycket. Aylor (2002) presenterade resultat för spridningshastigheten med *Puccinia* Pathway i USA. Hastigheten varierade mellan 16-76 km/dag med ett medelvärde på 35,2 km/dag. Hastigheten för rostspridningen beräknas vara 2-3 ggr snabbare än den för mjöldagg vilket troligtvis är kopplat till att rostsporererna överlever exponering av solljus bättre (Aylor, 2002). En studie gjord av Christiano & Sherm (2007) visar att rost på sojaböna, *Phakopsora pachyrizi*, rörde sig med en hastighet på 8-10 km/dag i USA. Roelfs *et al.* (1992) skriver att rostens urediniosporer rör sig med en hastighet på 1 cm/sek vilket motsvarar 300 m på 8 h och 20 min.

2.4.2 Spridning och utveckling över kortare avstånd

De villkor som krävs för att patogenen skall kunna orsaka sjukdom är att alla delar i sjukdomstriangeln uppfylls. Patogenen, det vill säga ett inokulum, skall finnas tillgängligt, klimatet skall uppfylla patogenens krav och en värdväxt måste finnas tillgänglig. Uppfylls dessa villkor kan sjukdomen utvecklas och sprida sig (Vanderplank, 1963). Utvecklingen av svartrost i fält över tid kan illustreras med en sigmoid kurva (s-formad). Svartrostangreppen i Sverige visar dock inte någon tydlig S-form.

Rosten uppträder mycket sent på säsongen då den sprids med urediniosporer från andra regioner eller från berberisbusken. S-formen hinner därför oftast bara påbörjas och inte fullfölja den generella formen för en polycyklisk epidemi (Vanderplank, 1963). För att beräkna utvecklingshastigheten (r = rate) av rostangreppet över tid, transformeras angreppsgraderingar (x) till $\ln(x/(1-x))$ (=logit(x)). Detta ger en linjär beskrivning av sjukdomsförloppet och linjens, lutning som man beräknar med hjälp av räta linjens ekvation, motsvarar då r , utvecklingshastigheten. En mycket snabb utvecklingshastighet för svartrost kan motsvaras av $r=0,4$ (Vanderplank, 1963).

2.5 SKADOR OCH SKÖRDEFÖRLUSTER

Svartrost och kronrost kan orsaka stora skador i havre i Sverige (Djurberg, 2007). År 1927 noterades kraftiga angrepp på vissa vårvetesorter i Svalöf, främst de som blivit sådda sent (Åkerman, 1952). Särskilt svåra svartrostangrepp på Ultuna har uppgivits under åren 1928, 1929, 1932 och 1951. År 1928 angrep svartrosten särskilt vissa sent sådda höstvetesorter i försöken på Ultuna och i något fall halverades avkastningen. Även på vårvetet uppträdde svartrosten, men inte i lika stor omfattning. År 1929 kunde även stora kvalitativa förluster observeras som resultat av ett svårt svartrostår. Svartrostens skada tilltog med den avtagande tidigheten hos sorterna (Åkerman, 1952). Den kraftiga svartrostepidemin år 1951 resulterade i miljonförluster (Åkerman & Mac Key, 1952). Försöksresultat från året visar också ett mycket tydligt samband mellan sjukdomens angreppsgrad och dess inverkan på skördenivån (Åkerman & Mac Key, 1952)

Genom historien har även stora skördeförluster noterats utomlands. År 1932 förekom i Tyskland skördeförluster på mellan 50-80 procent orsakade av svartrost i vete (Blumer, 1963). Tusenkornvikten minskade då också med 50 procent (Blumer, 1963). I mellersta delarna av USA där man inkluderat Colorado, Illinois, Indiana, Iowa, Michigan, Minnesota, Montana, Nebraska, North Dakota, Ohio, South Dakota, Wisconsin och Wyoming beräknades skördeförluster på 50 miljoner bushels (1 bushel = 27 kg vete, råg och majs 25 kg, havre 14,5 kg och korn 22 kg) mellan åren 1915-1919 (Vanderplank, 1963). År 1916 beräknades dock en skördeförlust inom området på 184 miljoner bushels vilket kan jämföras med 12 miljoner bushels i förlust år 1925. Vädret ansågs vara likvärdigt båda åren men reduktionen av mängden berberisbuskar var mycket effektiv mellan dessa år (Vanderplank, 1963).

2.6 BEKÄMPNING

2.6.1 Bekämpning utan kemiska preparat

Bekämpning utan kemiska preparat innebär åtgärder som vidtas i förebyggande syfte för att minska infektion och spridning. Patogener i annuella grödor övervintrar generellt på någon form av mellanvärd eller behöver en sexuell värd för att fullborda sin livscykel, vilket gäller för *P. graminis* (Agrios, 2005). En metod att bryta patogeners livscykel har därför varit att ta bort mellanvärderna. Det har många gånger varit en tillräcklig åtgärd för att radikalt minska mängden inokulum eller förhindra spridningen helt. För att förhindra spridningen av svartrost har därför utrotning av berberisbusken varit en viktig del av bekämpningen. Berberisbusken har inte haft någon ekonomisk nytta för lantbrukaren och metoden har varit mycket effektiv för att reducera spridning av svartrost till stråsädesgrödor (Agrios, 2005). År 1917 och 1918 utfördes ett omfattande arbete för utrotning av buskarna i Amerika där alla buskar och nya skott togs bort och tydliga skillnader i angreppsstorlek kunde konstateras direkt. Det är viktiga slutsatser som därefter även redovisats på mer vetenskapliga grunder (Vanderplank, 1963). Stakman och Fletcher skriver år 1930, "Not only did barberries cause local epidemics but they often caused destructive regional epidemics." "The effect produced by the bushes was found first and the bushes were found later by searching near the most heavily infected grain." (Vanderplank, 1963). Effekterna av detta arbete är dock inte lika tydligt i USA idag då sporer även sprids via vinden från söder och kan på så sätt fortfarande orsaka stora förluster i vissa områden

(Vanderplank, 1963). Ett omfattande arbete med att utrota berberisbusken har även gjorts i Sverige (Lantbruksstyrelsen, 1975).

En annan viktig metod som används vid bekämpning av svartrost är användningen av resistent sortmaterial, vilket man gör i större delen av världen (Roelfs *et al.*, 1992; Kolmer, 2005). Användning av resistent sorter är billigt, enkelt, säkert och den mest effektiva metoden för att undvika skador orsakade av svampangrepp (Agrios, 2005). Vid förädlingen av det resistenta materialet har studier gjorts på vilka virulensgener patogenpopulationen har (Roelfs *et al.*, 1992). Många vetesorter världen över har resistensgenen *Sr31* som härstammar från råg. Lösningen på svartrostepidemierna på flera platser i världen var kombinationen av resistent grödmaterial och utrotning av berberisbusken (Kolmer, 2005). Odling av resistent sorter resulterar dock i reduktion av rasspektrat hos rosten då vissa raser missgynnas medan de som det inte finns resistens mot gynnas (Kolmer, 2005). För att verka förebyggande krävs ett aktivt arbete med att lokalisera resistensgener och utveckling av nytt resistent grödmaterial, vilket görs på flera platser i världen (Singh *et al.*, 2008).

I varmare klimat har även reducering av spillplanter som övervintrar visat på minskad spridning (Agrios, 2005). Vid kontroll av svartrost i Kanada praktiseras, utöver användning av resistent grödmaterial, även tidig sådd (Fetch, 2006).

2.6.2 Kemisk bekämpning - olika preparat och deras effekter

Kemisk bekämpning som åtgärd mot svartrost vidtas då svartrostangrepp i fält anses ge en skördenedsättning hos grödan som kan vara av ekonomisk betydelse. Havreodlingens dåliga lönsamhet medför dock att stora skördeökningar krävs för att behandling skall vara lönsam (Lerenius, 2004). Djurberg (2007) menar att det är ibland mycket svårt att veta vilka fält som behöver behandlas mot svartrost då bekämpningen måste ske innan blomning, DC 65 (Zadoks *et al.*, 1974). I detta utvecklingsstadium är det fåtal angrepp som eventuellt finns ofta mycket svåra att hitta. Är förutsättningarna de rätta kan angreppet dock utveckla sig mycket snabbt och sena angrepp kan därför orsaka stora skador (Djurberg, 2007). Loughman *et al.* (2005) redogör för försök där fungiciden varit effektivast vid applicering direkt vid notering om angrepp i fält. Applicering innan angrepp sker, eller 3 veckor efter första angrepp har gett sämre effekt. Fungicidbehandling reducerade svartrost bättre på mindre angripna plantor än de plantor som haft starkare angrepp vid appliceringstillfället (Loughman *et al.*, 2005). Försök från Kenya visar att fungicider även har signifikant goda effekter mot svartrost i områden med ras Ug99 (TTKS) (Wanyera *et al.*, 2009).

De olika kemiska preparat och substanser som kan användas mot svartrost i Sverige enligt Jordbruksverkets bekämpningsrekommendationer (2009) visas i Tabell 2. Riktvärdet för bekämpningströskeln är när angrepp uppträder omkring vippgång. Bekämpningstidpunkten rekommenderas till DC 55-71 (Jordbruksverket, 2009).

Tabell 2. Sista behandlingstidpunkt för olika preparat, rekommenderad dos och preparatens verksamma substanser (efter Jordbruksverket, 2009).

Preparat	Dos (l/ha)	Aktiv substans	Sista behandlingstidpunkt
Comet	0,3-0,5	Strobilurin	35 dagars karens
Tilt Top	0,4-0,6	Triazol + Övriga	DC 59
Comet + Tilt Top	0,2-0,3 +0,2-0,4	Strobilurin + Triazol	DC 59
Jenton/Comet Plus	0,6-0,8	Strobilurin + Övriga	DC 69 (Jenton)
Acanto	0,3-0,5	Strobilurin	DC 65
Amistar	0,3-0,5	Strobilurin	DC 61

Rekommendationen är att vid sena behandlingar med Comet eller Jenton/Comet Plus använda låga doser för att inte försena avmognaden. Sista behandlingstidpunkt för preparaten är olika (Tabell 2). Comet har en karenstid på 35 dagar. Effekterna av bekämpning kan höjas vid blandning av preparat med olika verksamma substanser (Jordbruksverket, 2009).

Strobilurin är en nyare aktiv substans som ingår i vissa fungicider. Substansen isolerades från början från en nedbrytarsvamp, *Strobilurus tenacellus*, vilken bryter ner ved- och trämassa. Substansen har i det sammanhanget som uppgift att skydda nedbrytarsvampen från andra mikrober och svampar vid nedbrytningsprocessen. Kemister framställer idag samma substans men då har den större effektivitet. Den syntetiskt framställda substansen fungerar på samma sätt som nedbrytarsvampen. Den hämmar respirationen och därmed energiproduktionen hos de oönskade svamparna. Respirationen hämmas då substansen blockerar elektrontransporten vid quinoloxidationen i cytokrom b1-komplexet vilket stör produktionen av ATP. De plantor som behandlas med strobiluriner absorberar substansen först i kutikulan. Sedan transporteras den vidare i de underliggande cellagren translaminärt och systemiskt via det vaskulära systemet. Strobiluriner orsakar fysiologiska effekter, tillväxtfördelar och grönverkande effekt på plantorna. Detta för att plantorna vid behandling håller sig gröna längre tid över växtsäsongen. Det beror delvis på att strobilurinerna har vattenkonserverande effekter, men främst beror det på reduceringen av de naturliga nedbrytarsvampar som finns på plantan. Strobiluriner är effektiva mot de flesta växtpatogena svamparna men användningen av dessa preparat verkar gynna vissa patogener mer än andra. Det sker troligtvis genom att strobilurinerna slår ut de mikroorganismer som verkar antagonistiskt mot patogener (Agrios, 2005).

Triazoler är en annan grupp av verksamma substanser som ingår i flera preparat med god effekt (Agrios, 2005). Exempel på preparat innehållande triazoler som används i Sverige är Tilt Top, Stratego och Proline (Jordbruksverket, 2009). Triazolerna har visat på effektivitet över lång tid mot ascomyceter, imperfekta svampar och basidiomyceter (Agrios, 2005).

2.7 FÖRSÖKSRESULTAT FRÅN MELLANSVENSKA FÖRSÖKSSAMARBETET

Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk raps redovisar i Försöksrapport (2004, 2005, 2006, 2007 & 2008) resultat från sort- och fungicidförsök. I detta arbete har de försök som behandlat svartrost studerats.

2.7.1 Sortförsök i havre

Sveriges havreodling sker i stor omfattning i Mellansverige. Drygt 182 000 ha av landets totala 228 000 ha odlas i Södermanlands, Östergötlands, Jönköpings och Kronobergs län (D-G län) (Roland, 2008). Sortförsök läggs ut för att mäta avkastning hos olika havresorter. Skillnaderna i avkastning har under senare år varit små och lantbrukarens val av havresort styrs därför oftast av andra odlings- och kvalitetsegenskaper. I försöken är Belinda mätarsort och ger störst avkastning. I Mellansverige såddes 16 stycken sortförsök med försöksplan L7-501 år 2008 (Roland, 2008). Tabell 3 och 4 visar sorternas olika avkastning, proteinhalt, rymdvikt och tusenkornvikt.

Tabell 3. Avkastning hos sorter från sortförsök L7-501 år 2008 i obehandlat led från 14 försök i område D-G län. Skillnader i kärn kvalitet område D-G, medeltal 2004-2008 (efter Roland, 2008).

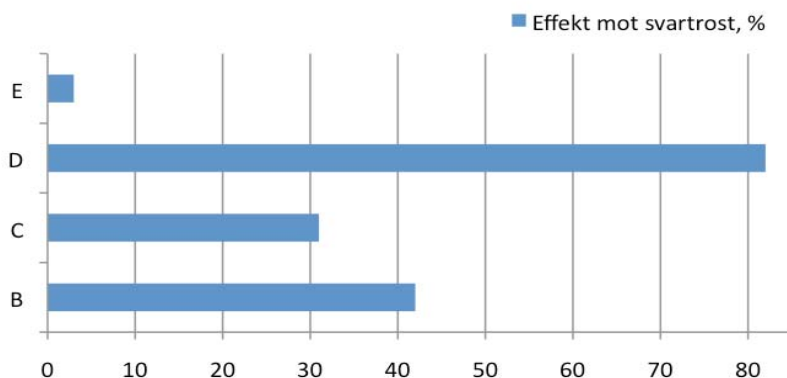
Sort	Avkastning kg/ha	Relativtal	Proteinhalt av ts procent	Rymdvikt g/l	Tkv g
Belinda	6100	100	11,5	532	38,6
Aveny	6090	99,8	11,4	537	37,6
Kerstin	6050	99,1	11,2	535	36,5
Buggy	5820	95,4	11,3	511	35,4
Ingeborg	5770	94,6	11,7	539	41,0
Freddy	5750	94,3	11,5	552	37,1
Scorpion	5730	93,9	11,5	550	43,0
Ivory	5660	92,8	11,7	545	44,4

Tabell 4. Avkastning år 2008 och medelavkastning år 2004-2008 i område C (Uppsala län). Mätarsort Belinda. Medeltal av fungicidbehandlat och obehandlat led (efter Roland, 2008).

Sort	2008	Medel 2004-2008
Belinda, kg/ha	6260	5690
Rel. tal	100	100
Aveny	100	103
Freddy	90	100
Ingeborg	93	99
Kerstin	100	99
Scorpion	91	96
Ivory	95	96
Buggy	92	-

2.7.2 Fungicidförsök år 2004

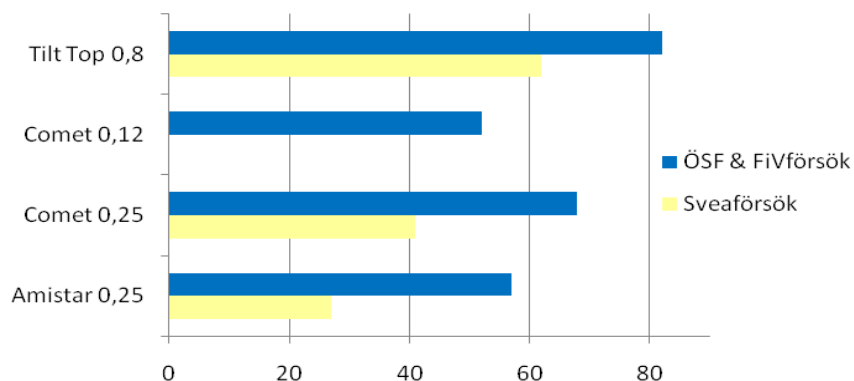
Under 2004 redovisas lönsamma skördeökningar i fyra av sju försök i havre trots den låga förekomsten av svampsjukdomar (Lerenius, 2004). Den dåliga lönsamheten i havre kräver dock stora skördeökningar för att motivera bekämpning. För att studera betydelsen av sena behandlingar lades ett riktat försök ut mot rost i Svea-området (Stockholms, Uppsala, Västmanlands, Kopparbergs och Gävleborgs län). Angreppen av svartrost kom sent men utvecklade sig under augusti för att vid gradering den 11 augusti visa på skillnader i angreppsnivå mellan behandlingarna. Kronrostangreppet var svagt och ansågs obetydligt. Behandlingarna i leden gjordes sent, DC 65 i led B och C. Behandling i led D och E gjordes två veckor efter DC 65. Bäst bekämpningseffekt med 82 procent mot svartrost noterades i led D, Comet 0,5 l två veckor efter DC 65 (Figur 7) (Lerenius, 2004).



Figur 7. Bekämpningseffekt mot svartrost år 2004, ett försök. Alla led behandlades med Comet, Led B 0,5 l i DC 65, Led C 0,25 l i DC 65, Led D 0,5 l i DC 65 + 2 v. och Led E 0,25 l i DC 65 + 2 v. (efter Lerenius 2004).

2.7.3 Fungicidförsök år 2005

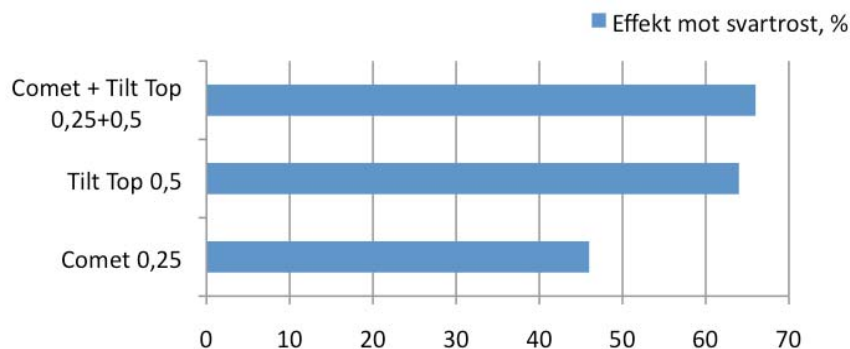
Under 2005 års försök bekräftades att rotsjukdomar är viktiga att bekämpa då de annars ger stora skördeföruster (Mellqvist, 2005). I försök med både kron- och svartrostangrepp redovisades merskördar på i medeltal 1 000 kg per ha. Två försök lades ut i Sveaområdet där svartrostangrepp förekom. Kronrostangreppen kommer ofta vid vippgång medan svartrost kommer senare. I försök med starka svartrostangrepp gav en Tilt Top-behandling drygt 1 500 kg/ha i merskörd. Svartrosten noterades i mitten på juli. Tilt Top visade år 2005 bäst effekt mot svartrosten vid behandlingstidpunkt i DC 59 med 82 procent respektive 62 procent bekämpningseffekt (Figur 8).



Figur 8. Bekämpningseffekt mot svartrost med olika preparat år 2005. (Mellqvist, 2005).

2.7.4 Fungicidförsök år 2006

Under 2006 lades åtta försök ut och svartrost förekom i alla, dock främst i ringa mängd (Mellqvist, 2006). Rosten uppträdde i slutet av juli vilket är sent och i majoriteten av försöken visades endast måttliga merskördar vid bekämpning. Ett försök visade dock trots sent angrepp på stor merskörd vid bekämpning. I början av augusti graderades försöken med avseende på procent angripen stråyta ovanför övre noden. Alla strån i obehandlat led hade då i genomsnitt 35 procent angripen stråyta. I detta försök gav behandlingen med 0,8 l/ha Tilt Top störst merskörd med 830 kg/ha och visade också bäst effekt mot svartrost. Detta bekräftade tidigare resultat som visat goda effekter med Tilt Top. Mycket goda bekämpningseffekter kunde konstateras i totalt fem försök med plannummer L15-2042 (Figur 9) (Mellqvist, 2006). Enligt 2005 års försök utförda av Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk raps gav behandling med Comet stora skördeökningar. Variationen i merskörd mellan försöken var stor men med en dos på 0,25 l/ha kunde en merskörd på 1 100 kg/ha redovisas (Mellqvist, 2006). År 2006 låg merskördarna på lägre nivåer. Bekämpningen med Acanto Prima 0,75 l/ha, som är en strobilurin, gav störst merskördar; drygt 800 kg/ha. I genomsnitt gav en behandling med Comet 0,25 l/ha i vippgång (DC 55) störst merskördar; 250 kg/ha. Bekämpningstidpunkterna har varit vid DC 39, när flaggbladet är utvecklat och DC 55, vid vippgång. Försöken från 2006 visar att den andra bekämpningstidpunkten ger något högre skördar (Mellqvist, 2006).



Figur 9. Bekämpningseffekt mot svartrost i havre 2006, DC 87. Plannummer L15-2042 (Mellqvist, 2006).

2.7.5 Fungicidförsök år 2007 och 2008

Under år 2007 lades fyra försök ut av Mellansvenska försökssamarbetet varav havren i ett av dem fick kraftiga angrepp av svartrost (Djurberg, 2007). Stora skördeökningar kunde redovisas från detta försök och fungicidbehandling med Comet visade bäst skördeökningar och gav bäst bekämpningseffekter. Detta var inte påverkat av dosen. Tilt Top visade på svag effekt mot svartrost till skillnad från tidigare försöksresultat då Tilt Top visat på samma bekämpningseffekt som Comet. Comet har dock längre verkan över tid än Tilt Top. Även kvaliteten blev bättre i behandlade led. Rymdvikten ökade med i genomsnitt 22 g/l, tusenkornvikten med i genomsnitt 3,6 g och proteinhalten ökade med ca en procentenhet. Sena behandlingar har tidigare visat på stora skördeökningar med över 2 000 kg/ha i merskörd (Djurberg, 2007).

Inga merskördar kunde konstateras från 2008 års strategiförsök i havre med försöksnummer L15-5010 (Lerenius, 2008). Sju stycken försök var utlagda på slättbyggd där risken för påverkan av rostsjukdomar anses liten. Svampangreppen var mycket små och inga effekter gällande rymdvykt, stråstyrka eller fysiologiska effekter på avmognaden kunde noteras. Svartrosten uppträdde sent på säsongen i något försök och hade ingen påverkan på avkastningen. Inga skillnader kunde noteras gällande avmognad mellan leden vilket man kunnat se tidigare år (2004-2005), då Comet-leden visat på tydliga grönverkande effekter (Lerenius, 2008).

3. Material och metoder

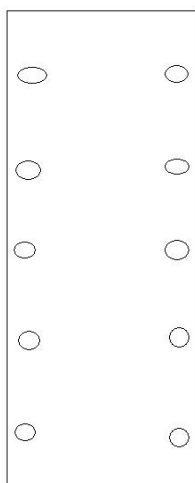
3.1 FÄLTFÖRSÖK OCH FÄLTARBETE

Arbetet påbörjades under sommaren 2008 i samband med sommaranställning vid Växtskyddscentralen, SJV i Uppsala. Under våren 2008 valdes fyra försök ut i havre kopplade till frågeställningarna som presenterades i inledningen och svartrostangrepp i dessa graderades under sommaren. Tre av dem var sortförsök, plannummer L7-501, med placering i Fransåker utanför Märsta, på Bränne Övregård som ligger utanför Eskilstuna och på Brunnby utanför Västerås. Sortförsöken graderades i genomsnitt två gånger. Ett strategiförsök, där olika preparat och behandlingstidpunkter studerades, med placering i Fransåker graderades vid fyra tillfällen, plannummer L15-5010. Mikroklimatmätare, Tiny Tag TEP-4500, fanns utplacerade i anslutning till försöksplatserna för sortförsöken i Fransåker och Brunnby. Dessa placerades ut i slutet på maj och togs in i början på augusti. Var 30:e minut mätte och registrerade de temperatur (°C) och luftfuktighet (RH), i fält. Från Brunnby och Fransåker kan väderdata även redovisas från hushållningssällskapens egna väderstationer. Isolat av sommarsporer samlades in från fält på olika platser som ingick i Växtskyddscentralens prognos- och varningsverksamhet.

Under sommaren 2009 fortsatte arbetet under liknande former, även nu i samband med sommaranställning vid Växtskyddscentralen, SJV i Uppsala. Fyra försök graderades varav två sortförsök med plannummer L7-501, ett strategiförsök, plannummer L15-5010, och ett rostförsök, plannummer L11-5040S-09. Strategiförsöket var placerat i Ståholm utanför Köping tillsammans med ett av sortförsöken och de resterande två försöken var placerade i Fransåker, Märsta. Sortförsöken graderades vid två tillfällen medan strategi- och rostförsöken graderades vid ett tillfälle. Även veckovisa graderingar i s.k. prognosrutor har gjorts för att kunna säkerställa angreppstidpunkten och utvecklingshastigheten hos rostangreppet i fält. Mikroklimatmätare placerades ut den 8 juni i sortförsöket i Fransåker och i en prognosruta i Brunnby, Västerås. Mätarna togs in den 18 augusti.

3.1.1 Graderingsmetod i fält

Vid gradering år 2008 gjordes en ytgradering på 10 strån (huvudskott) i utvalda försöksled. Ytgradering innebär andelen angripen yta i procent med gruppering ”0, spår-1, 1–5, 5–10, 10–25, 25–50, 50–100” samt ”vissna” för varje plockat strå. Vid gradering år 2009 ytgraderades 20 strån per led för att man tydligare skulle kunna se eventuella skillnader mellan leden vid provtagningen. Längs långsidan på varje ruta plockades 10 strån slumpmässigt på 5 olika platser (Figur 10). Vid angrepp endast på blad användes intervallet ”spår-1” för notering om förekomst. Graderingsmetoden var densamma i alla försöken. Vid gradering i prognosrutor rycktes 50 huvudskott slumpmässigt som sedan ytgraderades enligt samma princip som i försöksleden. Gradering gjordes på huvudskott då behandlingar med strobiluriner ger gröna sidoskott och kan gynna nyinfektioner av urediniosporer, vilket skulle kunna ge otydliga skillnader mellan led och behandlingar.



Figur 10. Provtagningsmetod år 2009. Varje provtagningsplats är markerad med en cirkel i figuren som illustrerar en ruta i ett försök.

3.1.2 Sortförsök

Under 2008 graderades tre sortförsök med placering i Fransåker, Bränne Övregård och Brunnby, försöksplan L7-501. Försöken hade 17 led i fyra block, varav två block var obehandlade och två behandlade. Av de 17 leden valdes 7 led ut för gradering av svartrost i de obehandlade blocken. Målet var att jämföra sorterna med avseende på angreppstidpunkt, andel angrepp och angreppsutveckling. Alla tre försöken graderades en gång per vecka efter fynd av svartrost. Med hjälp av mikroklimatmätarna som var utplacerade i Brunnby och Fransåker kunde temperatur och luftfuktighet studeras i förhållande till angreppsutvecklingen. Försöken i Brunnby och Bränne Övregård behandlades mot svampangrepp den 26 juni.

Tabell 6. Valda led för gradering år 2008 i sortförsök L7-501 placerat i Brunnby, Bränne Övregård och Fransåker samt sorternas stråstyrka och antal dagar för mognad (efter Larsson, 2008).

Led	Sort	Mognad, dagar	Stråstyrka, 100-0*	Kronrostförekomst, procent
A	SW Belinda	110	73	6
B	NS Freddy	110	72	7
C	SW Cilla	105	56	5
D	SW Kerstin	111	76	5
E	SW Ingeborg	110	76	7
H	SW Aveny	109	72	1
K	NS Buggy	109	93	5

*100 = fullt upprätt bestånd.

Vid val av sorter år 2008 studerades "Sortval 2008" (Larsson, 2008). Där anses havre vara det stråsvagaste spannmålsslaget och att stråstyrkan kan påverkas av rostsvampförekomsten. Dessa två faktorer har därför spelat en viss roll i valet av led och sorter. Den stråstyvaste sorten bland de som valdes är sorten *Buggy*, vilken är mycket kortvuxen. *Cilla* är stråsvagast och mognar tidigare än de andra sorterna vilka har ungefär samma mognadstidpunkt. *Freddy* och *Ingeborg* är två sorter som tidigare visat sig kunna angripas av kronrost. Dessa har dock visat på vissa skillnader i stråstyrka. I *Aveny* finns kronrostresistens (Larsson, 2008). *Belinda* och *Kerstin* är två marknadsstarka sorter som odlas mycket (Lyckman, J., muntligen, 2008). *Belinda* är i försöken även referenssort.

Under 2009 graderades två sortförsök med placering i Fransåker och i Ståholm med plannummer L7-501. Detta för att se om det finns sortskillnader i mottaglighet och angreppsbild, det vill säga första angreppstidpunkt, utvecklingshastighet och andel angripen stråyta. Efter att de första angreppen observerats graderades försöken två gånger. Avsikten var att få fram så tydliga skillnader mellan sorterna som möjligt. Graderingar i sortförsöken gjordes senare än graderingar i rostförsöket då sorten *Belinda* i rostförsöket hade tidigare och starkare angrepp än övriga sorter i sortförsöken. Valda sorter för gradering styrdes av de led som ingick i försöket i Ståholm som hade färre antal led (Tabell 7). Gradering gjordes i obehandlade block. Behandling i de behandlade blocken i Fransåkerförsöket gjordes den 25 juni med 0,25 l Comet och 0,6 l Proline. Försöket i Ståholm behandlades mot svampangrepp den 25 juni.

Tabell 7. Valda led för gradering år 2009 i sortförsök L7-501. Samma sorter har graderats men ledbeteckningarna skiljer sig mellan försöksplatserna.

Led (Ståholm)	Sort	Led (Fransåker)	Sort
A	SW Belinda	A	SW Belinda
B	NS Freddy	B	NS Freddy
C	SW Kerstin	D	SW Kerstin
D	SW Ingeborg	E	SW Ingeborg
E	NS Ivory	F	NS Ivory
F	SW Aveny	G	SW Aveny
G	NS Scorpion	J	NS Scorpion
H	NS Buggy	K	NS Buggy

3.1.3 Strategi- och Rostförsök

Under 2008 graderades ett strategiförsök med placering i Fransåker, försöksplan L15-5010. Försöket såddes den 8 maj 2008 med sorten *Belinda*. HS Konsult AB agerade försöksvärd och Växtskyddsbiologi, SLU, Alnarp stod bakom försöksplanen tillsammans med kemikalieföretag och växtskyddscentraler som beställare. Försöket omfattade 9 led varav 4 led graderades kontinuerligt. Graderingarna i de utvalda leden (Tabell 8) påbörjades efter att det första fyndet av svartrost gjorts i obehandlat led. Därefter graderades utvalda led en gång per vecka fram till slutgraderingen, som gjordes i alla led.

Tabell 8. Valda led för gradering av svartrostangrepp.

Led	Behandling	Dos/ha och tidpunkter	
		DC 37-39	DC 65
A	Obehandlat	-	-
B	Comet + Tilt Top	0,25 + 0,5	-
C	Comet	0,25	-
I	Proline	-	0,6

Under 2009 graderades ett strategiförsök med placering i Stäholm, L15-5010, (Tabell 10) och ett rostförsök med placering i Fransåker, L11-5040S (Tabell 9). Syftet med försök L11-5040S var att studera strobilurinernas påverkan på rostsvamparna. Ett rostförsök, L11-5040S, fanns också i Brunnby men det graderades inte. Dock har skördesiffror från försöket kunnat studeras och inkluderas i studien. Behandling i DC 55-59 gjordes den 3 juli i Fransåker och 8 juli i Brunnby. Behandling i DC 71-79 gjordes den 13 juli i Fransåker och 22 juli i Brunnby. Graderingsresultat från Fransåker grundas på den slutgradering som gjordes den 5 augusti. Slutgradering gjordes då så tydliga skillnader mellan leden som möjligt kunde noteras, vid DC 85 (degmognad). Bedömningen för detta gjordes i A-ledet som graderades vid ett par tillfällen. Havresorten i båda rostförsöken var Belinda. Försöken omfattade olika led med olika behandling. Alla led graderades.

Tabell 9. Rostförsök L11-5040S placerat i Fransåker och Brunnby år 2009. Led med olika behandling och behandlingstidpunkter i sorten Belinda.

Led	Preparat	Beh. tidpunkt:	
		DC 55-59	Beh.tidpunkt: DC 71-79
A	Obehandlat		
B	Comet	0,25 l	
C	Comet		0,25 l
D	Tilt Top	0,5 l	
E	Comet + Tilt Top	0,25 l + 0,5 l	

Tabell 10. Strategiförsök L15-5010 placerat i Stäholm 2009. Led med olika behandling i sorten Kerstin.

Led	Preparat	Behandlingstidpunkt DC 37-39
A	Obehandlat	-
B	Amistar	0,25 l
C	Acanto Prima	0,75 l
D	Comet	0,25 l
E	Comet	0,125 l
F	Delaro	0,4 l
G	Proline + Comet	0,2 l + 0,25 l
H	Öppet led	-

3.2 RASBESTÄMNING

Det växthusarbete som gjorts genomfördes under våren och hösten år 2009. Under våren odlades utsäde upp av differentiallynjer av havre (*Pg 1, Pg 2, Pg 3, Pg 4, Pg 6/7, Pg 8, Pg 9, Pg 10, Pg 12, Pg 13, Pg 15, Pg 16, Pg a, Alpha, Pg 11, Pg 14*) i växthus på Ultuna. Utsäde odlades även upp i fält av Hushållningssällskapet i Kristianstad. Under sommaren samlades isolat av svartrost in från alla led som graderats i de två sortförsöken i fält (se ovan), vilket motsvarar åtta led i två försök, dvs. 16 isolat.

Under hösten odlades differentiallinjerna upp i fyra omgångar och inokulerades med isolaten så att en rasidentifiering av de olika svartrostisolaten från sortförsöken (L7-501) kunde genomföras.

3.2.1 Sådd av differentiallinjer

Differentiallinjerna såddes under hösten i krukor 7,5 x 7,5 cm, som sedan placerades i en plastlåda cirka 15 x 15 cm. I varje låda placerades 4 krukor och i varje kruka såddes fyra differentialsorter, enligt figur 11. Totalt sett såddes 16 upprepningar. Havren såddes i vermikulit omgång 1-3 och plantorna vattnades med näringslösning (NPK 7-3-5) måndag, onsdag och fredag. Vid den fjärde omgången såddes differentiallinjerna i jord. Då byttes även sorten *Alfa* ut mot en ny sort, *Makuru* som skall vara mottaglig för alla svartrostraser.

Pg a	Alpha /Ma kuru	Pg 11	Pg 14
Pg 12	Pg 13	Pg 15	Pg 16
Pg 6/7	Pg 8	Pg 9	Pg 10
Pg 1	Pg 2	Pg 3	Pg 4

Figur 11. Schema för sådd av havre-differentiallinjer vid rasidentifiering av svartrost i växthus

3.2.2 Inokulering

Differentiallinjerna inokulerades då plantorna var 8-10 dagar och befann sig i tvåbladsstadiet. Sporerne förvarades innan inokulering torrt i eppendorfrör. Strax innan inokulering tillsattes cirka 250 µl vatten med Tween 20. Om isolatet varit fryst utsattes det även för värmechock. Rören lades då i en blåskål med 45° C varmt vatten i cirka 5 min. Plantornas vaxskikt drogs av med hjälp av händerna och de inokulerades därefter i dragskåp med hjälp av pensel. Bladens undersida penslades med sporlösningen. De 16 insamlade isolaten inokulerades med ett isolat per set med differentiallinjer. Mellan varje inokulering vädrades dragskåpet och rengjordes med 70-procentig etanol. De inokulerade plantorna placerades i en tätad plexiglasbox, sprayades med vatten och vattnades även med hett vatten för att åstadkomma 100 procent luftfuktighet. Efter ett dygn öppnades boxarna, som placerats i växthus, för att låta plantorna torka. Växthuset var inställt på temperaturen 18° C nattetid med mörker under sju timmar och 22° C dagtid med lamporna påslagna under 17 timmar. Luftfuktigheten var under 80 procent i kammaren under tillväxtperioden. Till de första tre omgångarna användes isolat som förvarats i frysen. Till den fjärde omgången förökades isolaten upp från färskasporer. Uppförökningen gjordes på den kommersiella havresorten Belinda.

3.2.3 Gradering och rasbestämning

Cirka 15 dagar efter inokulering gjordes en gradering av fläckarnas utseende för rasbestämning av svartrosten enligt ett graderingsschema (Fetch *et al*, 2006). Första bladets undersida bedömdes på varje planta.

Symboler som användes vid gradering:

0 = Ingenting

1 = nekros runt liten sporulerande pustel

2 = gul-grön ”ö” runt pustel

3 = större pustel, ibland grönt, vattnigt område kring pusteln

4 = stor och kraftigt sporulerande pustel, oftast diamantformad

; = fläck, dvs. liten prick utan sporulering

X = heterogen reaktion (allt från ; till 4 bör finnas, alternativt om ej 4 finns: X- eller om ej ;: X+)

Y = heterogen reaktion, med kraftigare pustlar vid bladets topp och svaga pustlar vid bladbasen

Z = heterogen reaktion, med svaga pustlar vid bladets topp och kraftiga pustlar vid bladbasen

C = kloros

N = nekros

Escape = plantan har troligtvis inte blivit inokulerad

Vid gradering av angreppets utseende på differentiallinjerna kan en kod med tre bokstäver, användas för att utläsa rostrasen (Tabell 11). Systemet gör det möjligt att kartlägga och jämföra olika isolat av *P. graminis* f. sp. *avenae*. Pustlar graderade till 3 och 4 bedöms som ”High infection type”, H, dvs mottagliga. ”Low infection type”, L, anses vara resistent reaktioner och inkluderar graderingstyperna 0, ;, 1, 2 och heterogena reaktioner (X, Y och Z).

Tabell 11. Bokstavskodning vid rasdifferentiering av *P. graminis* f. sp. *avenae* vid användning av 12 differentiallinjer med enkla Pg-gen linjer (efter Fetch och Jin, 2007).

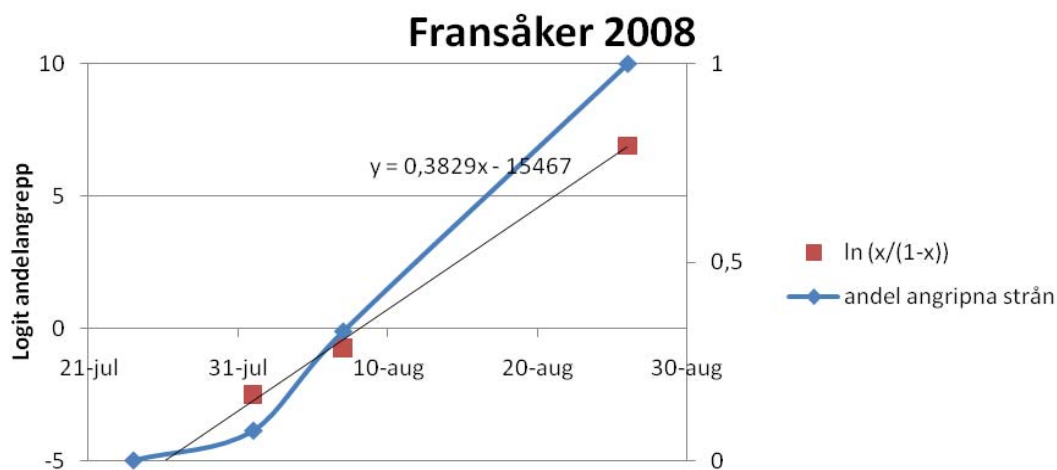
Bokstavskod	Subset				
	1	Pg 1	Pg 2	Pg 3	Pg 4
	2	Pg 6	Pg 8	Pg 9	Pg 10
	3	Pg 12	Pg 13	Pg 15	Pg 16
B	-	L	L	L	L
C	-	L	L	L	H
D	-	L	L	H	L
F	-	L	L	H	H
G	-	L	H	L	L
H	-	L	H	L	H
J	-	L	H	H	L
K	-	L	H	H	H
L	-	H	L	L	L
M	-	H	L	L	H
N	-	H	L	H	L
P	-	H	L	H	H
Q	-	H	H	L	L
R	-	H	H	L	H
S	-	H	H	H	L
T	-	H	H	H	H

4. Resultat

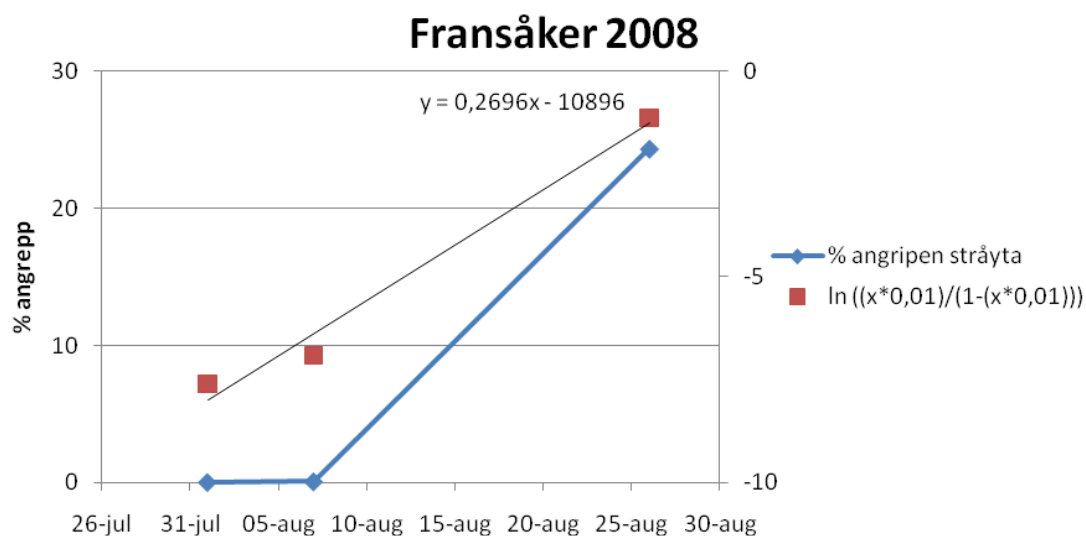
4.1 ANGREPPSUTVECKLING

4.1.1 Fransåker 2008

Graderingar i obehandlade led i fältförsök L15-5010 i Fransåker gjordes den 24 juli, 1 augusti, 7 augusti och 26 augusti. Det första svartrostangreppet noterades den 1 augusti med i genomsnitt 0,05 procent angripen stråyta. Andelen angripna strån var vid tillfället 0,075. Utvecklingshastigheten (r) beräknades till 0,38 respektive 0,27 med andel angripna strån respektive procent angripen yta som utgångspunkt.



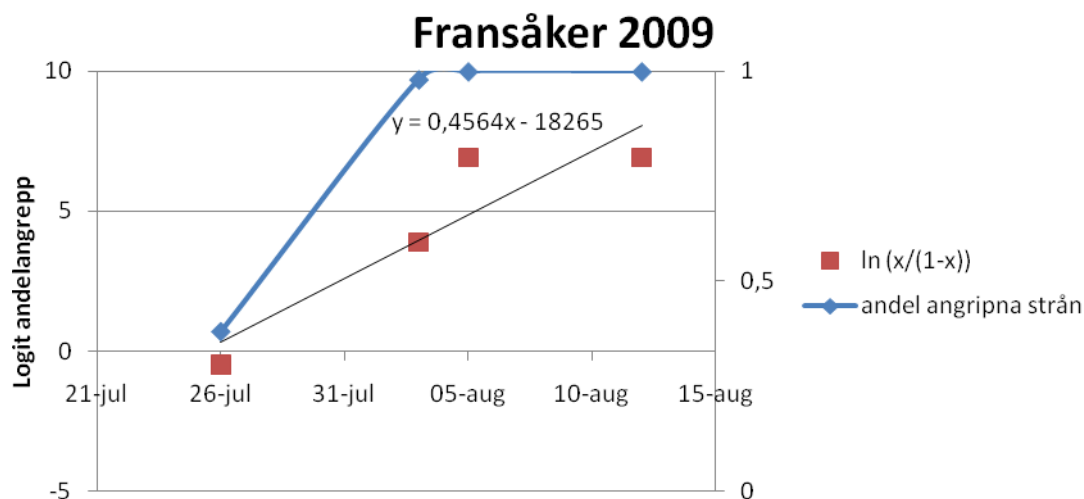
Figur 12. Utveckling av svartrostangrepp, andel angripna strån, i Fransåker år 2008. Det första angreppet noterades 1 augusti.



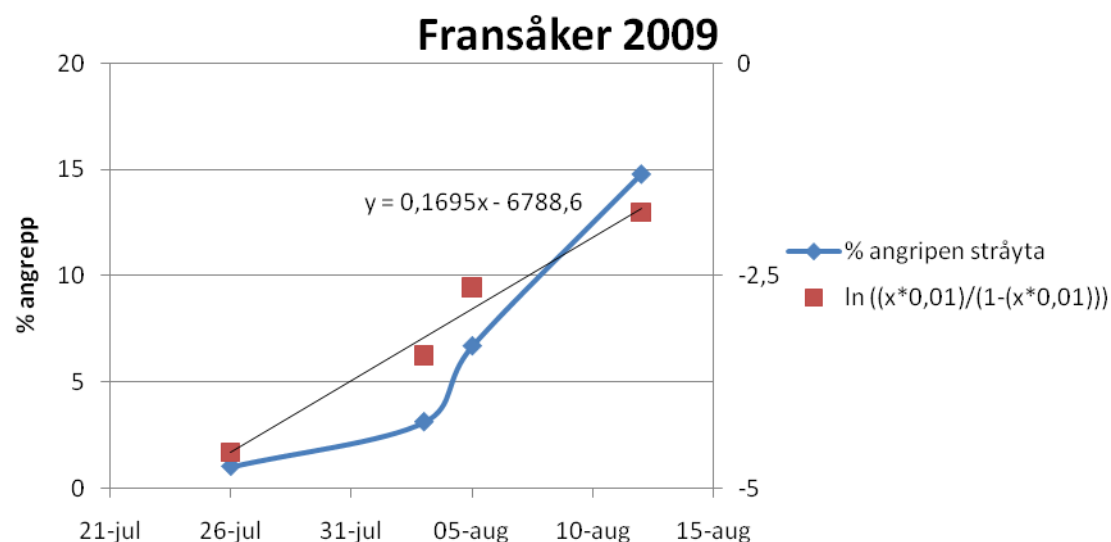
Figur 13. Utveckling av svartrostangrepp, procent angripen stråyta, i Fransåker år 2008. Det första angreppet noterades 1 augusti.

4.1.2 Fransåker och St Bärby 2009

Graderingar i Fransåker i prognosruta och obehandlade led i fältförsök L7-501 gjordes den 26 juli, 3 augusti, 5 augusti och 12 augusti. Det första svartrostangreppet noterades den 26 juli med i genomsnitt 1,02 procent angripen stråyta. Andelen angripna strån var vid tillfället 0,38. Utvecklingshastigheten (r) beräknades till 0,46 och 0,17 med andel angripna strån respektive procent angripen yta som utgångspunkt.

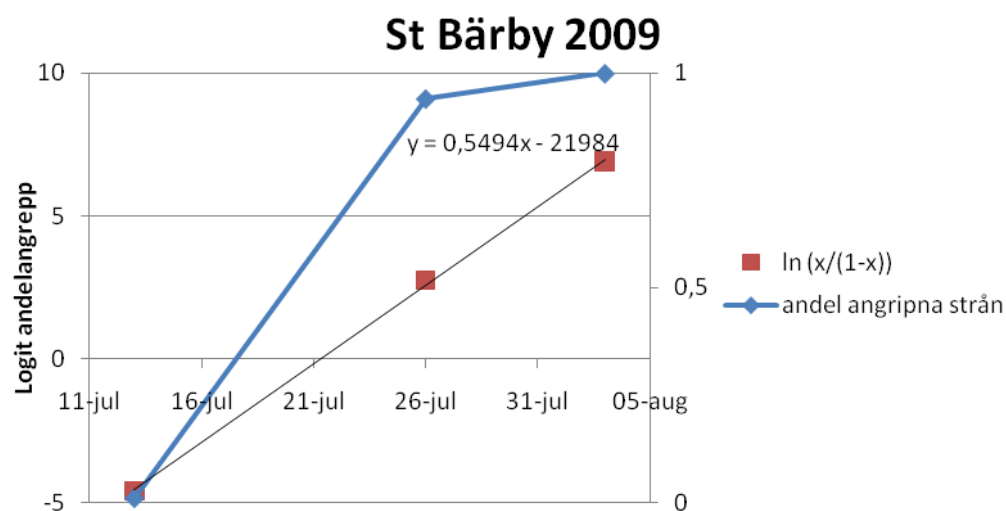


Figur 14. Utveckling av svartrostangrepp, andel angripna strån, i Fransåker år 2009. Det första angreppet noterades 26 juli.

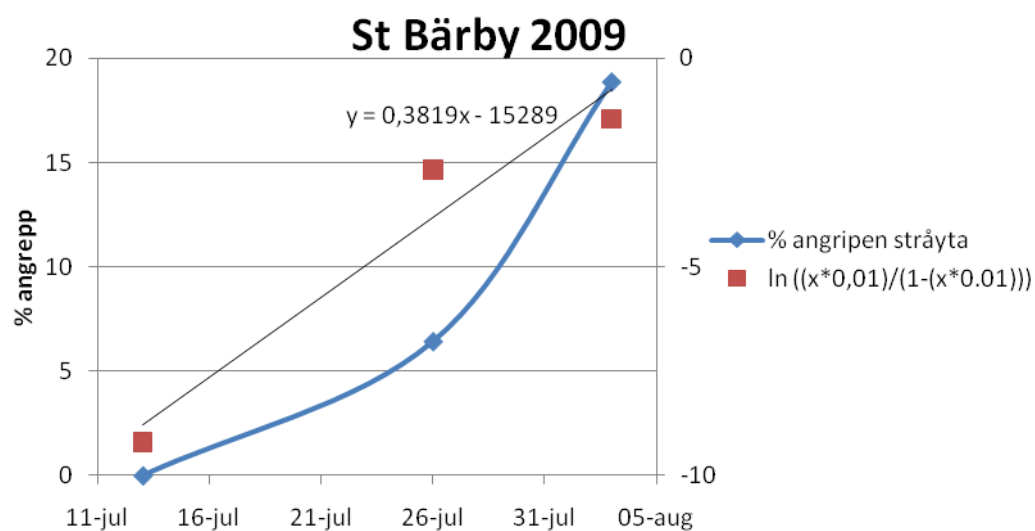


Figur 15. Utveckling av svartrostangrepp, procent angripen stråyta, i Fransåker år 2009. Det första angreppet noterades 26 juli.

Graderingar i prognosrutan vid St Bärby gjordes den 13 juli, 26 juli och 3 augusti. Det första svartrostangreppet noterades den 10 juli. Utvecklingshastigheten (r) beräknades till 0,55 och 0,38 med andel angripna strån respektive procent angripen yta som utgångspunkt.



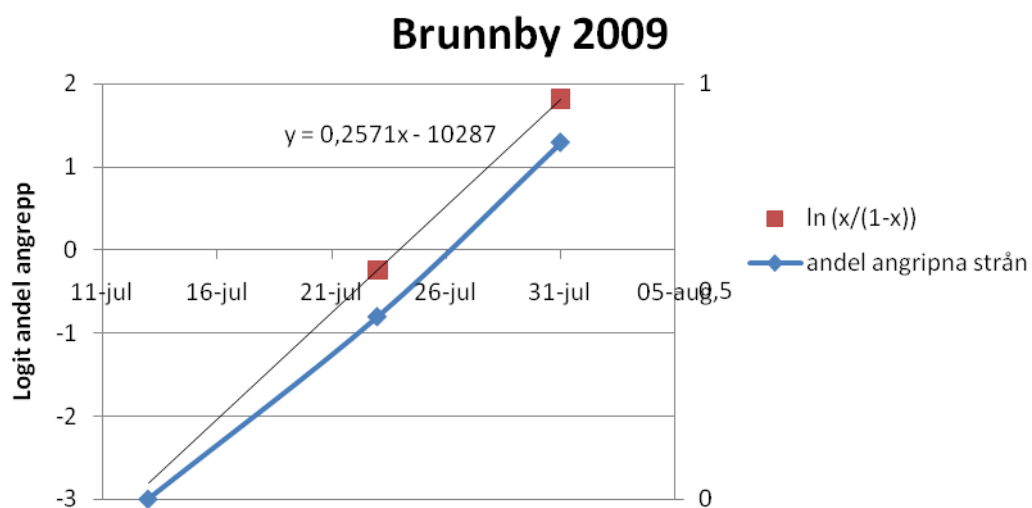
Figur 16. Utveckling av svartrostangrepp, andel angripna strån, i St Bärby år 2009. Det första angreppet noterades 10 juli.



Figur 17. Utveckling av svartrostangrepp, procent angripen stråyta, i St Bärby år 2009. Det första angreppet noterades 10 juli.

4.1.3 Brunnby 2009

I Brunnby år 2009 graderades rostangrepp i prognosrutan vid tre tillfällen; 13 juli, 23 juli och 31 juli. Vid det första graderingstillfället noterades ingen svartrostförekomst. Vid besök i prognosrutan den 5 augusti, efter graderingarnas upphörande, noterades stora mängder svartrost (se omslagsbild). Ingen gradering utfördes vid tillfället. Svartrostens utvecklingshastighet mellan graderingstillfälle två och tre beräknades till 0,26.

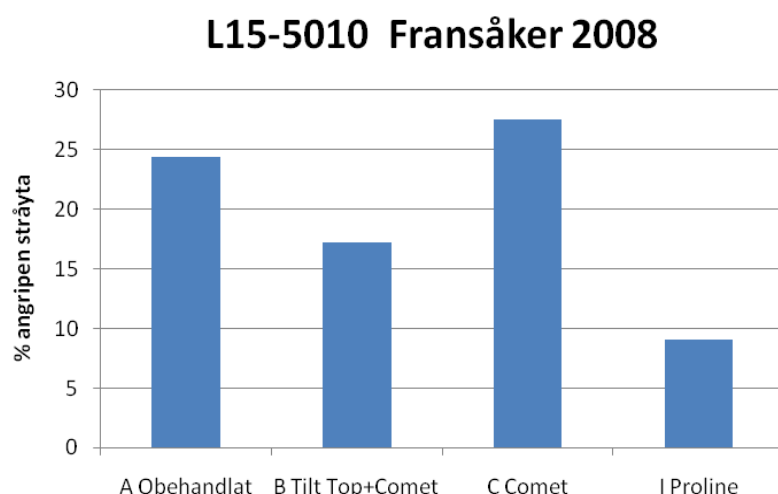


Figur 18. Utveckling av svartrostangrepp, andel angripna strån, i Brunnby år 2009. Det första angreppet noterades 23 juli.

4.2 STRATEGI- OCH ROSTFÖRSÖK

4.2.1 Strategiförsök 2008

Under 2008 graderades ett strategiförsök med placering i Fransåker, försöksplan L15-5010. Fyra led valdes ut för gradering (Tabell 8). Block I kasserades med anledning av sprutskada. Ingen kronrost noterades i försöket. Block III och Block IV slutgraderades den 26 augusti, i DC 91. Högst angreppsnivå noterades i led C, Comet-behandling i DC 37-39, med i genomsnitt 27,5 procent angripen stråyta. Lägst angreppsnivå konstaterades i led I, sen behandling med Proline (DC 65), där i genomsnitt 9 procent angripen stråyta noterades. Skillnader i rostangrepp mellan olika behandlingar är inte statistiskt signifikanta.



Figur 19. Svartrostangrepp i strategiförsök L15-5010, Fransåker 2008.

Angreppsnivån hos de olika sorterna kan jämföras med deras avkastning. Led I, Proline-behandling i DC 65, som visade på lägst angreppsnivå hade högst avkastning; 6680 kg/ha. Lägst avkastning hade led A, obehandlat, med 6410 kg/ha. Inga statistiskt signifikanta skillnader i avkastning mellan försöksleden kunde fastställas. Led I hade också högst tusenkornvikt (43,8 g) jämfört med övriga led. Den sena behandlingen visar också på fler grönskott och högre grad av grönhets (Tabell 12).

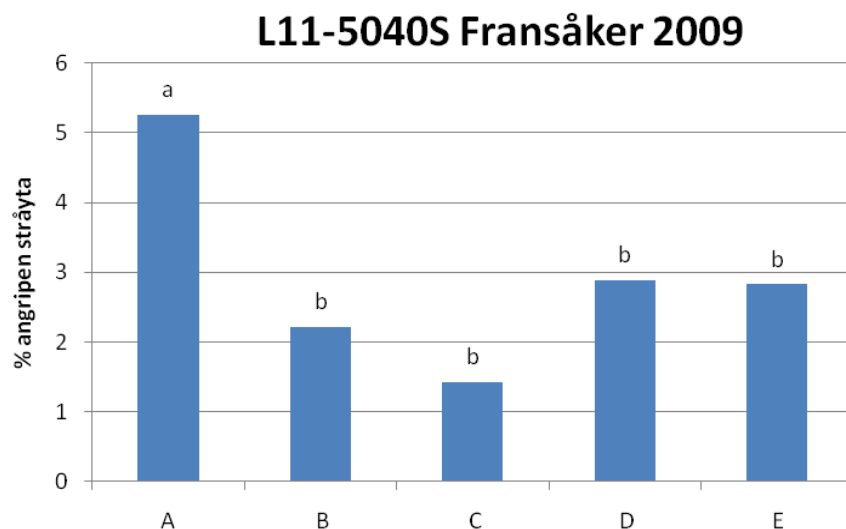
Tabell 12. Skörde kvalitet i genomsnitt för strategiförsök L15-5010 år 2008 med placering i Fransåker.

Led	Behandlings tidpunkt	Avkastning, kg/ha	Tkv, g	Rymdvikt, g/l	Proteinhalt, procent av ts	Stråstyrka, 0-100	Grönskott, procent	Grönhets, 0-10
A	DC 37-39	6410	36,8	549	13,2	100	0	3
B	DC 37-39	6500	37,1	549	13,3	97	0	5
C	DC 37-39	6430	38,0	552	12,8	97	0	3,5
I	DC 65	6680	43,8	551	13,3	100	3,3	6,5
LSD		400	5,2	9	0,6	9	3,6	2,9

4.2.2 Rostförsök 2009

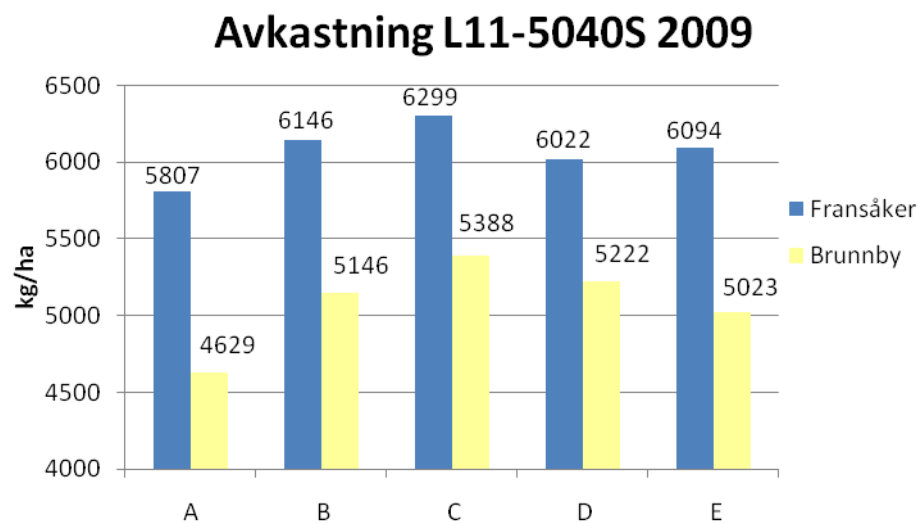
Under 2009 graderades ett rostförsök, försöksplan L11-5040S, med placering i Fransåker. I Brunnby låg ett likadant försök med samma försöksplan, dock finns ingen gradering av svartrost härifrån. Ingen kronrost noterades. Ingen svartrost noterades vid behandlingstillfället. I Brunnby noterades den första svartrosten den 23 juli och i Fransåker den 26 juli. Slutgradering gjordes den 5 augusti med signifikant

skillnad i angripen stråyta ($p < 0,0001$) mellan obehandlat led, A, och behandlade led, B-E (Figur 20). Starkast angrepp noterades i obehandlat led med i genomsnitt 5,3 procent angripen stråyta. Det svagaste angreppet noterades efter sen behandling (DC 71-79) med Comet 0,25 l med i genomsnitt 1,4 procent angripen stråyta.



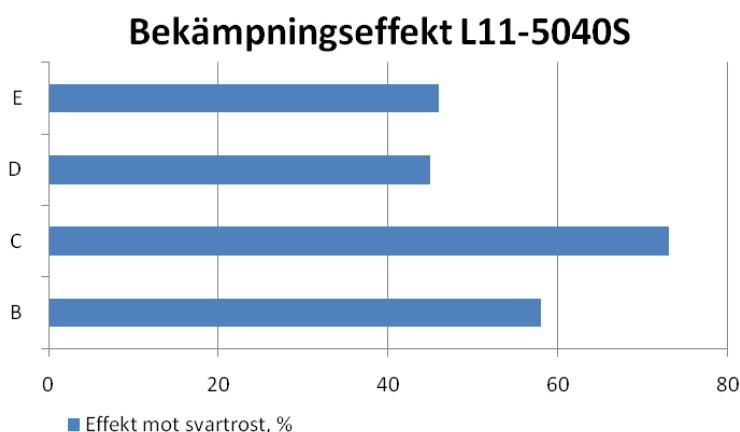
Figur 20. Angrepp i rostförsök L11-5040S, Fransåker. Gradering utförd den 5 augusti 2009, DC 85. A Obehandlat, B Comet 0,25 beh. DC55-59, C Comet 0,25 beh. DC 71-79, D Tilt Top 0,5 DC 55-59, E Comet 0,25 + Tilt Top 0,5 DC 55-59.

Lägst avkastning från försöket i Fransåker hade obehandlat led, A, med 5807 kg/ha (Figur 21). Led C, sen behandling med Comet, hade högst avkastning med 6299 kg/ha vilket är en merskörd på 492 kg/ha. LSD låg på 611 kg/ha vilket inte ger någon statistiskt säkerställd skillnad mellan leden. Led C och B visar på en något bättre rymdvikt (g/l), men skillnaden är inte signifikant. Det var inga skillnader i tusenkornvikt efter de olika behandlingarna. Båda leden (B och C) har bättre stråstyrka än obehandlat led. Bäst stråstyrka visar led C med 95 procent jämfört med 51 procent för obehandlat led.



Figur 21. Avkastning (kg/ha) från försök L15-5040S år 2009. A Obehandlat, B Comet 0,25 beh. DC55-59, C Comet 0,25 beh. DC 71-79, D Tilt Top 0, 5 DC 55-59, E Comet 0,25 + Tilt Top 0,5 DC 55-59. LSD är 611 kg/ha för Fransåker och 383 kg/ha för Brunnby.

Skördedata finns även från rostförsök L11-5040S i Brunnby (Figur 21). Led A, obehandlat led hade lägst avkastning med 4629 kg/ha. Sen behandling med Comet, led C, visade en merskörd på 759 kg/ha vilket var den högsta avkastningen i detta försök. LSD för försöket är 383 kg/ha vilket innebär att avkastningen i obehandlat led (A) är signifikant skiljt från den i behandlade led (B-E) ($P < 0.01$). Inga skillnader i tusenkornvikt eller rymdvikt kunde noteras för försöket. Havren i obehandlat led har en sämre stråstyrka (53 procent) (Tabell 13). Led C visar på bäst stråstyrka, 100 procent, följt av led E med 94 procent stråstyrka. Vid sammanslagning av stråstyrkorna från de båda försöken kan statistiskt signifikanta skillnader mellan leden fastställas ($p < 0.01$).



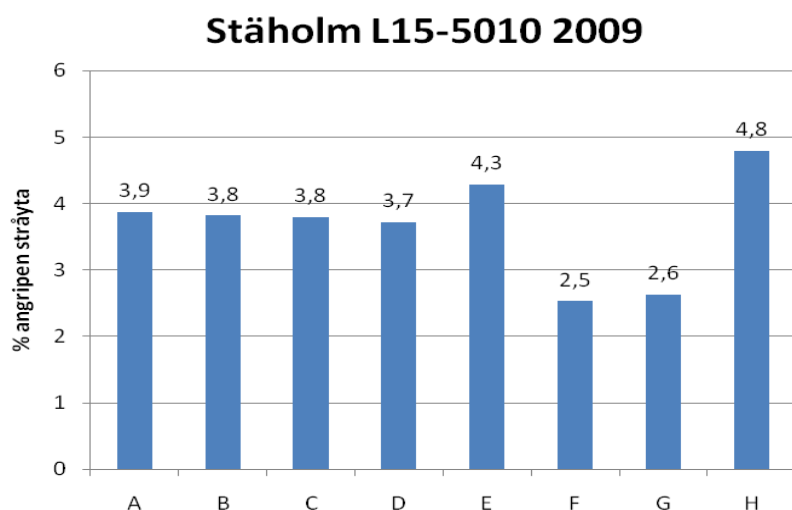
Figur 22. Bekämpningseffekt mot svartrost i försök L11-5040S Fransåker år 2009. B Comet 0,25 beh. DC55-59, C Comet 0,25 beh. DC 71-79, D Tilt Top 0, 5 DC 55-59, E Comet 0,25 + Tilt Top 0,5 DC 55-59

Tabell 13. Stråstyrka, skörd och merskörd i rostförsök L11-5040S, i Fransåker och Brunnby år 2009 (efter Mellqvist och Waern, 2010).

Led och behandling	Skörd, kg/ha	Skörd, kg/ha	Skörd, kg/ha	Stråstyrka, procent	Stråstyrka, procent	Stråstyrka, procent
	Fransåker	Brunnby	Medeltal	Fransåker	Brunnby	Medeltal
A Obehandlat	5807	4629	5220	51	53	52
B Comet DC55-59	+339	+517	+430	93	78	86
C Comet DC 71-19	+492	+759	+630	95	100	98
D TiltTop DC 55-59	+215	+593	+410	68	75	72
E TiltTop + Comet DC 55-59	+287	+394	+340	89	94	92
LSD	611	383	285	-	-	18
p-värde	0,53	0,01	0,0238	-	-	0,01

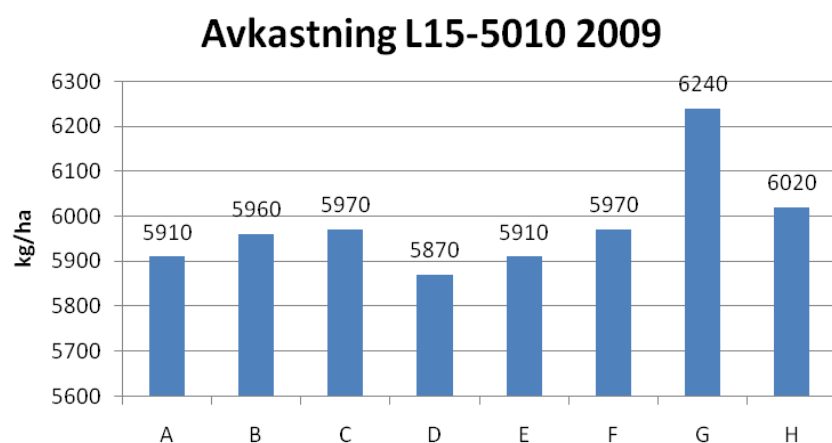
4.2.3 Strategiförsök 2009

Sorten i försök L15-5010 i Stäholm var Kerstin och svartrostangreppet slutgraderades den 12 augusti, dvs först en vecka senare än rostförsöket i Fransåker då det utvecklades långsammare enligt DC-skalan. Västmanland hade under perioden fått mer nederbörd och varit kallare jämfört med Uppland, vilket försenat mognaden och eventuellt angreppsutvecklingen. Led H, öppet led/obehandlat, visade på starkast svartrostangrepp med 4,8 procent angrepp i genomsnitt (Figur 23). Led F som behandlats med Delaro och led G som behandlats med Proline + Comet, hade lägst angreppsnivå i genomsnitt.



Figur 23. Angrepp i strategiförsök L11-5010, Stäholm. Gradering utförd den 12 augusti 2009, DC 87. A Obehandlat, B Amistar 0,25, C Acanto Prima 0,75, D Comet 0,25, E Comet 0,125, F Delaro 0,4, G Proline 0,2 + Comet 0,25, H Öppet led obehandlat. Alla led behandlades vid DC 37-39.

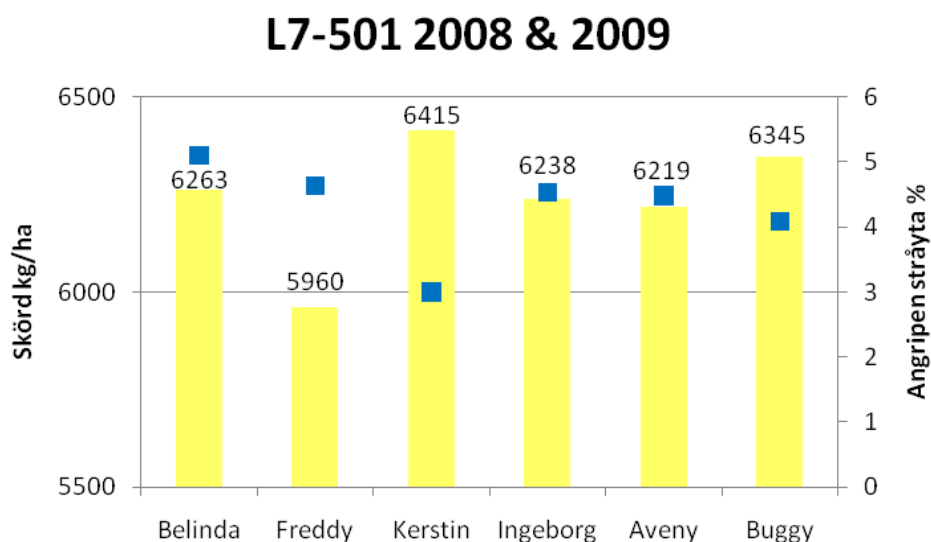
Inga statistiskt säkerställda skillnader för avkastningen finns då LSD är 350 kg/ha (Figur 24). Led G, Proline + Comet, visar på högst avkastning med 6240 kg/ha. Led D, Comet 0,25 l, visar på lägst avkastning med 5870 kg/ha.



Figur 24. Avkastning i strategiförsök L11-5010, Stäholm. LSD = 350 kg/ha. A Obehandlat, B Amistar 0,25, C Acanto Prima 0,75, D Comet 0,25, E Comet 0,125, F Delaro 0,4, G Proline 0,2 + Comet 0,25, H Öppet led obehandlat. Alla led behandlades vid DC 37-39.

4.3 SORTFÖRSÖK

Under år 2008 och 2009 graderades svartrostangrepp i utvalda sorter i fem sortförsök. De sorter som ingick i alla försök var Belinda, Freddy, Kerstin, Ingeborg, Aveny och Buggy. Vid jämförelse av angrepp mellan åren har den gradering valts som utfördes i obehandlade block mellan den 4-6 augusti då grödan befann sig DC 85, degmognad. Ett undantag är graderingar gjorda den 4 augusti 2009 i försöket i Stäholm som befann sig i DC 83, begynnande degmognad, som inkluderats i jämförelsen. Den sort som hade i genomsnitt högst angreppsnivå var Belinda med 5,1 procent angripen stråyta (Figur 25). Lägst angreppsnivå hade Kerstin med i genomsnitt 2,9 procent angripen stråyta.



Figur 25. Avkastning och svartrostangrepp (genomsnitt) från sortförsök L7-501 i Brunnby och Bränne Övregård år 2008 och Fransåker och Stäholm år 2009.

Angreppsnivån hos sorterna jämfördes med avkastningen för att se om något samband fanns. Kerstin visar på högst avkastning 6415 kg/ha vid utslaget medelvärde mellan olika försöksplatser och år. Kerstin visar även på svagast angrepp i genomsnitt med 3,0 procent angripen stråyta. Buggy hade en medelavkastning på 6345 kg/ha vilket är näst högst och kan jämföras med det näst lägsta angreppsvärdet på 4,1 procent angripen stråyta. Freddy har en genomsnittlig angreppsnivå på 4,6 procent angripen stråyta vilket är näst högst efter Belindas 5,1 procent. Freddy har även lägst avkastning med 5960 kg/ha.

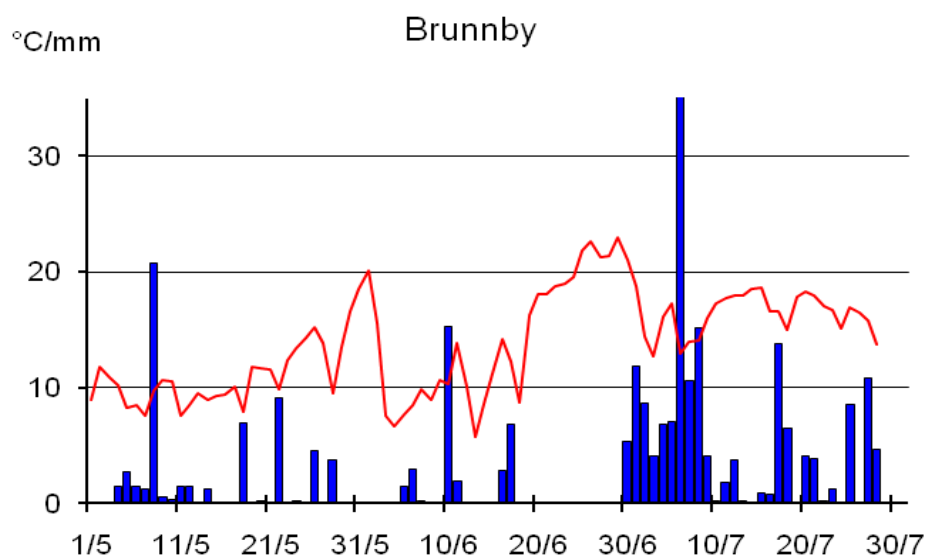
Tabell 14. Genomsnittlig skördekvallitet, skörd och svartrostangrepp från sortförsök L7-501. Platserna Brunnby, Bränne Övregård, Fransåker och Stäholm år 2008 och 2009.

Sort	Avkastning, kg/ha	Angrepp, procent	Rymdvikt, g/l	Tkv, g	Proteinhalt, procent	Stråstyrka, procent
Belinda	6263	5,09	541	38,3	12,7	74,5
Freddy	5960	4,63	558	37,4	12,4	63,8
Kerstin	6415	2,99	546	39,7	12,0	83,3
Ingeborg	6238	4,53	550	41,1	12,7	86,3
Aveny	6219	4,47	551	37,9	12,3	68,3
Buggy	6345	4,08	518	36,1	12,0	100

4.4 VÄDER OCH MIKROKLIMAT

Månaderna maj-juli år 2009 var i Västmanland, Brunnby, mestadels torra och svala, bortsett från i juli månad då det kom mer nederbörd.

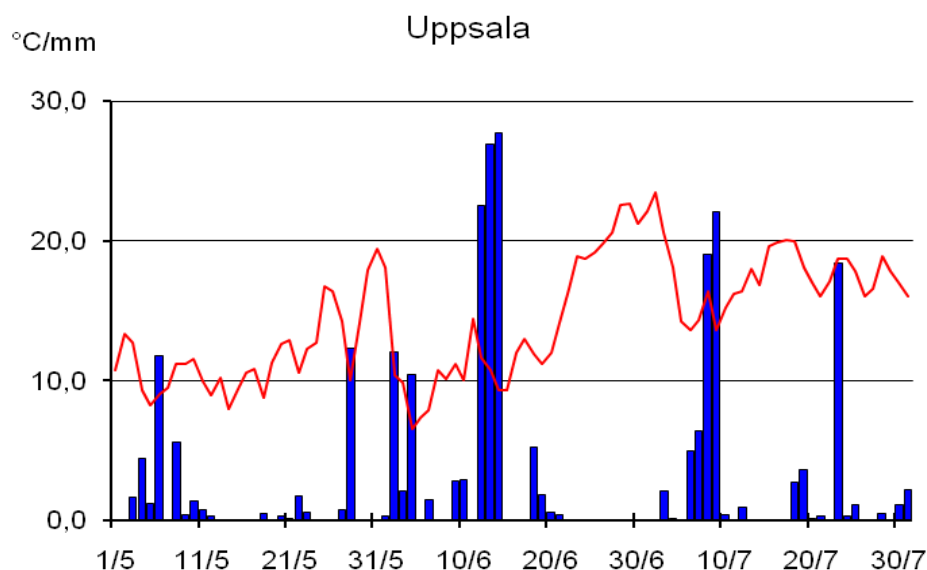
Maj månad började med relativt låga temperaturer och regnskurar vissa enskilda dagar, totalt 57,3 mm nederbörd (Figur 26). Under månadsskiftet maj-juni kom en mindre värmebölja men därefter sjönk temperaturen igen. Juni månad var torr med lite nederbörd och endast enstaka regndagar. Temperaturerna var låga. Ingen nederbörd föll i slutet av juni och temperaturen var då även högre. Under de första tio dagarna i juli kom mycket regn och temperaturerna sjönk något. Regn noterades nästan varje dag under hela juli månad och temperaturen var relativt stabil, mellan 15-20°C (Jordbruksverket, 2009; SMHI, 2009).



Figur 26. Temperatur och nederbörd maj - juli i Brunnby år 2009 (Jordbruksverket, 2009).

Månaderna maj-juli år 2009 hade i Uppland, Uppsala, enstaka nederbördsdagar. Större regnskurar föll dock i mitten av juni och i mitten av juli månad.

Under maj månad var temperaturen högre i Uppland än i Västmanland (Figur 27). Nederbörds mängden låg på 43,6 mm totalt. Under juni månad fick dock Uppland mer nederbörd med större skurar den 12-14 juni. Temperaturen var likvärdig med Västmanlands, möjligen något högre. En större värmebölja inträffade under slutet av juni månad. I juli sjönk dock temperaturen till följd av ett par nederbördsrika dagar fram till den 10 juli ungefär. Temperaturerna under juli månad låg genomgående strax under 20°C (Jordbruksverket, 2009).



Figur 27. Temperatur och nederbörd maj - juli i Uppsala år 2009 (Jordbruksverket, 2009).

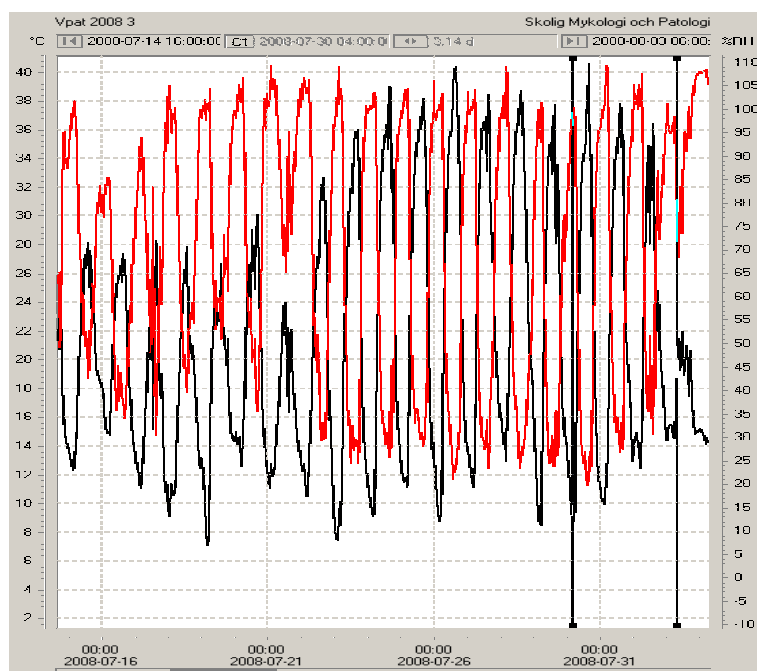
4.4.1 Mikroklimat Fransåker 2008

Utplacering av mikroklimatsmätarna gjordes i månadsskiftet maj-juni. Den första noteringen om svartrostangrepp i fältet gjordes den 1 augusti. Angreppet graderades vid tillfället i obehandlat led i försök L11-5010 med i genomsnitt 0,05 procent angripen yta. Vid mätningar 15 dagar innan noterat angrepp konstateras en luftfuktighet över 80 procent nattetid och omkring 30-40 procent dagtid (Tabell 18). Perioden visar på gynnsamma förhållanden för infektion. Temperaturen var cirka 28°C under dagtid och mellan 7°C och 11°C nattetid.

Tabell 15. Lägsta och högsta temperatur och luftfuktighet under infektionsperiod före första angrepp i Fransåker enligt mikroklimatsmätare i fält.

Datum	tidpunkt	Temperatur	RH procent
080717	04.30	11,1	93,72
080717	15.30	28,2	30,34
080718	04.30	10,2	100,1
080718	14.00	27,7	39,6
080719	04.30	7,14	100,0

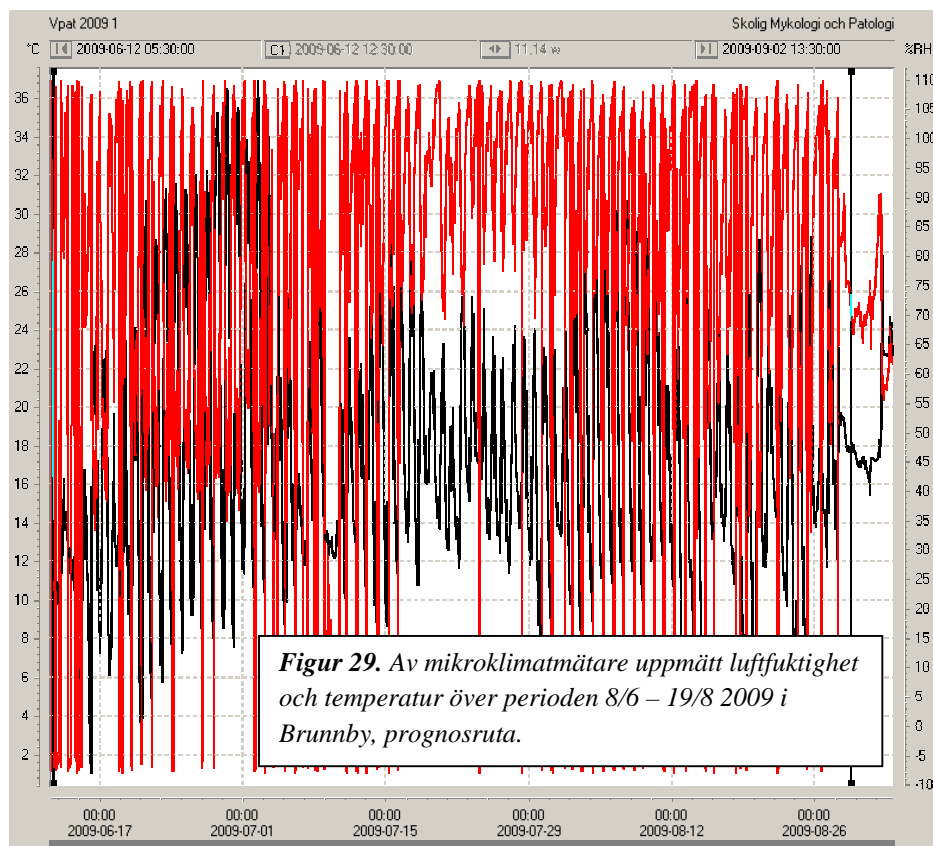
Perioden fram till första noterade angrepp visar enligt båda mätarna på gynnsamma förhållanden för infektion och tillväxt av svartrost (Figur 30). Gradering den 7 augusti redovisar en genomsnittlig angripen stråyta på 0,1 procent .



Figur 28. Tidsperioden 14 juli till 3 augusti som latensperiod för det första svartrostangreppet i Fransåker 2008, mätare 3.

4.4.2 Mikroklimat Brunnby 2009

Utplacering av mikroklimatmätare gjordes den 8 juni i prognosrutan i Brunnby. Prognosrutan graderades cirka 1 gång per vecka under säsongen. En luftfuktighet, RH, på över 80 procent från mikroklimatmätarna uppmättes från fältet varje natt. Kurvorna i Figur 28 visar temperatur i grader Celsius (svart linje) och luftfuktighet i procent (RH – röd linje). De första svartrostangreppen noterades den 23 juli.



Tabell 15 visar data från perioden 17-27 juli 2009 från en av mätarna. Under perioden förekommer två dagar med en luftfuktighet på över 80 procent. I övrigt visar perioden på gynnsamma förhållanden för infektion med över 80 procents luftfuktighet nattetid och under 80 procents luftfuktighet dagtid. Temperaturen visar mellan 21,7° C och 28,2° C dagtid och mellan 10,8° C och 16,4° C nattetid. Mellan klockan 14.00 den 19 juli och 07.00 den 20 juli föll 11,3 mm regn enligt väderstation 25754 Brunnby (Fältforsk hemsida, 2009) vilket visas med den något lägre dagstemperaturen och den höga luftfuktigheten. Liknande värden uppmättes med den andra mätaren.

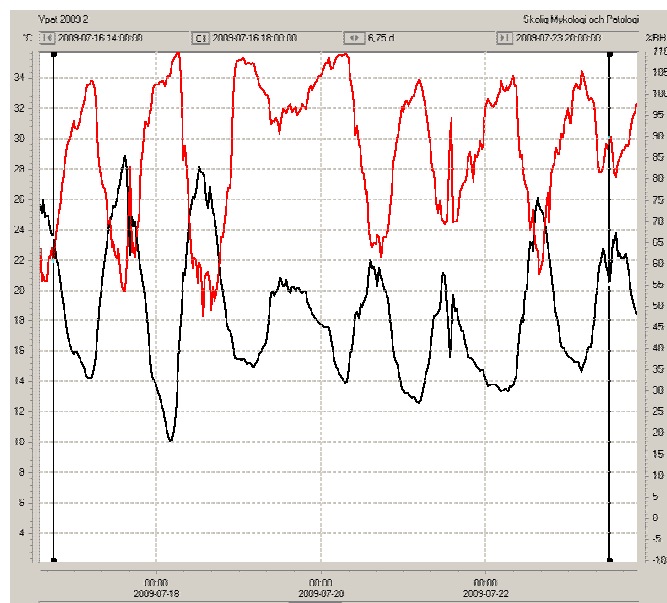
Tabell 15. Lägsta och högsta temperatur och RH-värden 17-27 juli 2009, Brunnby.

Datum	Temp	tidpunkt	RH procent	tidpunkt
090716	26,0	14.30	70,6	14.30
090717	13,0	04.30	107,0	05.30
090717	28,2	14.30	70,0	14.30
090718	10,8	03.30	108,8	06.00
090718	27,3	12.30	72,5	12.30
090719	16,4	05.00	100,8	06.00
090719	21,7	11.00	91,9	11.00
090720	13,7	05.30	109,5	05.30
090720	23,2	15.30	70,6	16.30

4.4.3 Mikroklimat Fransåker 2009

Utplacering av mikroklimatsmätare i prognosrutan gjordes den 8 juni med omplacering den 15 juli till sortförsök L7-501. Kurvorna i Figur 29 visar temperatur i grader Celsius (svart linje) och luftfuktighet i procent (RH – Röd linje). De första svartrostangreppen noterades den 26 juli. Sortförsöket graderades den 5 augusti och slutgraderades den 12 augusti. Rostförsök L11-5040S låg i samma fält och slutgraderades den 5 augusti. Mätarna togs in den 18 augusti.

Figur 29 visar perioden 16-23 juli. Båda mätarna redovisar temperaturer mellan 9-15°C nattetid och 26-31°C dagtid. Luftfuktigheten ligger mellan 102-110 procent nattetid och 53-56 procent dagtid enligt båda mätarna. Under den 19 juli visar mätarna lägre temperaturer och en luftfuktighet på över 80 procent dagtid. Väderstationen i Fransåker anger 2,4 mm nederbörd utspritt över natten och dagen (Fältforsk hemsida, 2009).



Figur 30. Mikroklimatsmätningar från mätare 2 under tidsperioden 16-23 juli som infektionsperiod för svartrost i Fransåker 2009. Regn den 19 juli.

4.5 RASBESTÄMNING AV SVARTROST

Rasidentifiering av *P. graminis* f.sp. *avenae* i växthus genomfördes hösten 2009 med fältprover insamlade från graderade sorter i fält från sortförsök L7-501 år 2009. Både frusna sporer och uppodlade sporer inokulerades på differentiallinjerna i olika omgångar. En sammanställning av identifierade rostraser visas i Tabell 19 och Tabell 20. Ett fältprov från sorten Freddy var virulent på *Pg14*. Raserna LBB och BBB från de övriga fältproven var virulent på *Pg14*. Ras BBB visar inga pustlar av "high infection type" (Tabell 11) och noteras för alla fältprov.

Tabell 17. Identifierade raser av *P. graminis* f.sp. *avenae* från sortförsök. Rostras enligt Fetch & Jin (2007).

Havresort	Rostras	Antal tillfällen för identifiering	Antal upprepningar totalt	Effektiva/Ineffektiva <i>Pg</i> gener
Belinda	-		4	
Freddy	-		4	
Kerstin	LGB	1	3	2,3,4,9,13,15,16,a/1,8
Ingeborg	LBB	1	3	2,3,4,6,8,9,10,12,13,15,16,a/1
Ivory	BDB	1	3	1,2,3,4,8,13,15,16,a/9
Aveny	NBC	1	4	2,4,6,8,9,10,12,13,15,a/1,3,16
Scorpion	-		3	
Buggy	-		2	

Tabell 18. Sammanställning av identifierade raser av *P. graminis* f.sp. *avenae* från alla fältprov. Rostras enligt Fetch & Jin (2007).

Rostras	Antal tillfällen för identifiering	Effektiva/Ineffektiva <i>Pg</i> gener
BDB	1	1,2,3,4,8,13,15,16,a/9
CBB	1	1,2,3,6,8,9,10,12,13,15,16,a/4
GBB	1	1,3,4,6,8,9,10,12,13,15,16,a/2
LBB	3	2,3,4,6,8,9,10,12,13,15,16,a/1
LBL	1	2,3,4,6,8,9,10,13,15,16,a/1,12
LGB	1	2,3,4,9,13,15,16,a/1,8
NBC	1	2,4,6,8,9,10,12,13,15,a/1,3,16

5. Diskussion

I Sverige har svartrost tidigare varit ett stort problem vid produktion av vete då sjukdomen orsakat stora skördeförster. Idag förekommer svartrost främst på havre. Priset som lantbrukaren erbjuds per producerat kilo havre är ofta mycket lågt. De växtsjukdomar, exempelvis svartrost, som angriper havre har därför bortprioriterats sedan en tid tillbaka då havren inte varit ekonomiskt intressant. Kunskapen om sjukdomssituationen har inte uppdaterats på länge. Resultaten från detta arbete visar att svartrosten orsakar lägre avkastning och sämre skördekvalitet även idag och att utvecklingshastigheten hos sjukdomen är mycket snabb. Det är dock sällan åtgärder vidtas, då *P. graminis* angriper grödan mycket sent på säsongen. Frågan är om havrepriset kan fortsätta vara så lågt som det har varit fram till idag? Vad händer då med produktionskvaliteten hos en svensk gröda som annars internationellt sett anses hålla en hög standard?

5.1 Utvecklingshastighet hos svartrost i havre

Utvecklingshastigheten (r) hos ett svartrostangrepp är högre om den mäts som ökning av antalet angripna plantor än om angreppet mäts som ökning av angripen stråyta på enskilda plantor. I det första fallet har hastigheten varierat mellan 0,25 och 0,54 med en genomsnittlig utvecklingshastighet på 0,41. I det andra fallet har utvecklingshastigheten varierat mellan 0,16 och 0,38 med ett genomsnitt på 0,27. Detta kan jämföras med en utvecklingshastighet på 0,4, vilken Vanderplank (1963) ansåg vara mycket snabb. Detta innebär att trots att de första angreppen av svartrost i havre noteras sent på säsongen, ofta i slutet av juli, kan angreppet med rätt klimatförhållanden utvecklas mycket snabbt och leda till betydande skördeförster. Det är därför viktigt att notera när svartrostangrepp kan hittas i fält. De tidigaste noteringarna om svartrost i fält gjordes den 17 juli år 2008 och 10 juli år 2009, vilket är relativt tidigt för svartrost. Vid mycket sena angrepp kan dock angreppet ge mindre påverkan på skörden då svampen är biotrof och kräver levande växtmaterial. En gräns för hur sent angreppet måste komma för att grödan inte ska lida någon större skada vore intressant att studera. Utvecklingshastigheten ger viktig information för beräkningar av bekämpningströsklar och utveckling av prognosmetoder. En hög utvecklingshastighet innebär också att en behandling med fungicid måste göras vid en låg angreppsnivå så att skadan inte hinner bli för stor.

5.2 Behandling med fungicider i fält

Tidpunkten för behandling med fungicider i fält är viktig för att få en så effektiv bekämpning som möjligt. Mina resultat tyder på att den sena behandlingen i försöken gett bäst resultat. Svartrost orsakar senare angrepp än kronrost och utvecklingshastigheten är mycket snabb vid gynnsamma förhållanden, vilket även fastställts av mina beräkningar. Behandling direkt vid upptäckt ger bäst resultat enligt Loughman (2005). Det är därför mycket viktigt att veta när det första angreppet kommer. Behandling gjord den 22 juli (DC 71-79) i rostförsök L11-5040S i Brunnby med notering om svartrostförekomst den 23 juli har gett statistiskt säkerställda merskördar. Svartrosten har då troligtvis varit i fält vid behandlingstillfället. Vid ett sådant tillfälle är en behandling med Comet möjlig innan skörd om rostangrepp påträffas i månadsskiftet juli-augusti. Comet har 35 dagars karenstid. Enligt försök L11-5040S har sen behandling (DC 71-79) av Comet bäst effekt. Även försök från 2004 visar på bättre bekämpningseffekter vid sena behandlingar (DC 65 + 2 v). En senare behandling i Fransåker, mer synkroniserad till angreppstidpunkten skulle eventuellt kunnat ge en större merskörd. Havre anses vara ett av de stråsvagaste spannmålsslagen vilket anses också bli påverkat av svartrostförekomsten. Svartrostförekomsten har även enligt mina resultat ($p = 0,01$) påverkan på stråstyrkan hos grödan (tabell 13).

Att behandla mot svartrost i förebyggande syfte ger med andra ord en sämre lönsamhet på grund av sämre bekämpningseffekt. Detta är en viktig slutsats vid produktion av havre där priset lantbrukaren

får per producerat kilo är lågt jämfört med exempelvis vete. Kontinuerliga kontroller i fält krävs för att notera när det första angreppet kommer för att få en så lönsam och effektiv behandling som möjligt. Detta borde göras både av lantbrukaren själv och vid prognostisering av angrepp.

I strategiförsöket L15-5010 i Fransåker år 2008 redovisar led I, sen behandling (DC 65) med Proline svagast svartrostangrepp. Led I hade också högst avkastning vilket tenderar till bäst bekämpningseffekt. Dock finns ingen statistisk säkerställd skillnad mellan skördesiffrorna. Slutgraderingen gjordes i block III och IV, vilket gjorde att graderingarna inte kunde jämföras och resultaten kunde inte behandlas statistiskt på grund av för få upprepningar. Försöksplanen L15-5010 var inte gjord med avseende på svartrost, varken 2008 eller 2009. Leden har behandlats med andra doser, i vissa fall andra preparat, men främst har andra behandlingstidpunkter valts än dem som skulle ha varit optimala ur svartrostsynpunkt. Resultaten från dessa försök är därför svårare att använda för att dra några direkta slutsatser gällande strategier för svartrostbekämpning. Den noterade grönheten i led I, sen behandling med Proline, kan bero på fungicidens påverkan på andra svampar i fält som påskyndar avmognadsprocessen. Behandlingens effekt på svartrosten, som också bidrar till avmognadsprocessen, kan vara en bidragande orsak till en ökad grönhet i ledet.

5.3 Olika havresorters mottaglighet för svartrost

Freddy har enligt mina resultat lägst avkastning och starkast svartrostangrepp (Figur 25). Resultaten tyder på att sorten är mer mottaglig för svartrost. Inget statistiskt underlag finns dock för detta och endast tendenser kan påvisas. Freddy har också sämst stråstyrka och tusenkornvikt, vilket också tyder på att svartrostangreppen kan ha haft betydelse. En tidig sort kan få mindre skördeförlust än sent mognande sorter. I fält år 2009 har Belinda, som är högavkastande och mätarsort, upplevts vara den sort som mognar tidigare än de andra sorterna. Belinda var dock den havresort med starkast svartrostangrepp enligt 2009 års graderingar, vilket också kan ha bidragit till dess tidiga mognad. En jämförelse mellan havresorters avkastning och mängd angrepp kan vara svår att göra då flera andra aspekter måste vägas in, exempelvis opåverkade avkastningsegenskaper mellan sorter och den tid som sorten kräver för att mogna. Skillnaderna i avkastningsegenskaper mellan sorter är dock liten (Tabell 3).

Försöksuppläggning och genomförande av försöket kan dock diskuteras utifrån svartrostsynpunkt. Fungicidbehandling i försöken L7-501 gjordes den 25 juni år 2009 (Fransåker och Stäholm) och 25 respektive 26 juni år 2008 (Fransåker, Brunnby och Bränne Övregård) med Comet 0,25l och Proline 0,6 l i de behandlade blocken. Enligt resultaten från rostförsöken (L11-5040S) är det de sena behandlingarna, 17 juli och 22 juli, som gett bäst bekämpningseffekt. Behandlingar gjorda den 25 juni har därför troligtvis ingen effekt mot svartrosten vilken då kan orsaka skördeföruster även i behandlade led. I sortförsök år 2008 och 2009 har inte heller gradering av svartrostförekomst gjorts av försöksvärdarna (Larsson, muntligen 2010). Svartrosten påverkar då alltså avkastningen utan hänsynstagande vid försökssammanställning. En havresort som är mer mottaglig får troligtvis större skördeförlust än mindre mottagliga sorter. Denna skördeförlust riskerar att vägas in som sortegenskap, vilket innebär att sorten klassas som lågavkastande på fel grunder.

Vid mina studier har ingen statistisk säkerhet kunnat fastställas mellan sorters mottaglighet. Svårigheten att få statistiskt säkerställda skillnader kan bero på stora variationer i angreppsgrad mellan försöken och försöksplatserna. Varje försök omfattar endast två upprepningar, då gradering endast gjorts i obehandlade block. Om man med säkerhet kan säga att den tidiga behandlingen i de behandlade blocken inte innebär någon minskning av svartrostangrepp, skulle alla fyra blocken kunna graderas för att ge bättre underlag. Graderingstekniken år 2009 var mycket säkrare på grund av mer rutin, vilket med fler upprepningar skulle ha kunnat visa tydligare resultat. Variation i

angreppsutveckling mellan sorter har inte kunnat undersökas då endast två svartrostgraderingar per försök har gjorts.

5.4 Mikroklimatmätning som prognosmetod

Resultatet från studiens mikroklimatmätningar visar att metoden inte är en tillförlitlig som enskild del vid prognostisering av angreppstidpunkt. Angrepp styrs i större utsträckning av tillgång på sporer och förekomst av mottaglig värd.

De förutsättningar som krävs för att svartrostsporer skall gro och ett svartrostangrepp skall utvecklas framgår av Tabell 1. Mätning av mikroklimat (temperatur och luftfuktighet) i fält har därför studerats som möjlig komponent i en prognosmetod. De väderdata som finns från väderstationer är inte tillräckligt specifika för detta ändamål (Figur 26 och 27). Temperaturmätningar från väderstationer visar överlag lägre temperaturer än de mikroklimatmätningar som gjorts i fält. Temperaturen i grödan är alltså högre än den temperatur som mäts i luften av en väderstation, vilket är värdefulla noteringar vid utvärdering av metoden.

Mikroklimatmätarna har visat över 80 procents luftfuktighet varje natt under hela säsongen. Mätningar gjordes under två säsonger och med samma resultat. Temperatur och luftfuktighet under dagtid har varierat något, vilket främst har styrts av mängden nederbörd. Luftfuktigheten under dagtid har dock oftast understigit 80 procent. Förutsättningarna för groning och tillväxt sett ur luftfuktighetsförhållandena har alltså varit mycket goda under hela säsongen. År 2008 noterades första graderade angreppet i Fransåker den 1 augusti. Vid mätningar 15 dagar innan noterat angrepp, vilket är lite längre än svartrostens inkubationsperiod under optimala förhållanden, konstateras gynnsamma förhållanden för infektion och tillväxt. (Tabell 18).

År 2009 visar mikroklimatmätarna högre luftfuktighet dagtid (ofta det dubbla värdet) och luftfuktigheten överstiger även 100 procent vissa nätter vilket är orimligt. Även konstiga hopp kan utläsas i data från luftfuktighetsmätningarna, då extremt låga värden registrerats under mycket korta perioder (Figur 28). Dessa låga värden har främst förekommit under morgontimmarna. En kalibrering borde gjorts av mätarna innan användning.

5.5 Rasidentifiering av svartrost

Resultaten pekar på att vi har andra raser och ett annat genmaterial hos *P. graminis* f. sp. *avenae* i Sverige. Differentiallinjerna är utvecklade i Nordamerika där de används för identifiering av havrens svartrostraser. Differentiallinjerna som använts vid rasidentifieringen är "isogenic lines" där Rodney använts som mottaglig bakgrundssort vilken inte anses bära några kända resistensgener mot svartrost. Mina resultat tyder på att Rodney eventuellt bär på okända resistensgener mot vårt genmaterial här i Sverige. Det kan vara endast en gen som slår igenom mot våra fältprover och isolat. Vid liknande rasidentifieringar i USA används Rodney och Marvellous som mottagliga kontroller och i Kanada används Makuru vid uppförökning av insamlade isolat. Är det så att dessa sorter innehåller någon okänd resistensgen kan det också innebära att vissa isolat även där borta inte har identifierats.

Mycket få fältprov hade sporer som grodde och utvecklade pustlar av "high infection type" på de differentiallinjer som användes. Ras BBB, gradering endast med typen "low infection type", noteras i alla insamlade fältprover. De första tre omgångarna användes olika fältprov som förvarats i frysen (-70°C). Misstankar om att fältproven var svaga fanns efter dessa omgångar. Argument mot svaga isolat var att fläckar av typen "fleck" kunde noteras på majoriteten av bladen, vilket tyder på att sporer har lyckats gro men att en HR-reaktion har skett, det vill säga plantans eget försvar har aktiverats. Inför den fjärde omgången odlades fältproven upp på vanliga kommersiella havresorter för att få tillgång till färskare sporer. Dessa sporer användes sedan för inokulering på differentiallinjerna med samma metod

som tidigare. Likartade resultat kunde konstateras ytterligare en gång. Misstankarna kring svaga isolat var därmed inte aktuella utan ersattes av funderingar kring genmaterialet i differentiallinjerna.

Vid den fjärde upprepningen byttes också differentialsort Alfa ut mot Makuru. Makuru anses vara mottaglig för alla svartrostraser och skall alltså inte innehålla några kända resistensgener. Tanken var att se om Makuru kunde visa på bättre mottaglighet. Dock har mycket få pustlar kunnat noteras på Makuru och dess generella mottaglighet kan därför ifrågasättas. Endast från enstaka fältprov har pustlar kunnat konstateras på sorten Makuru. Från majoriteten av isolaten noterades inga pustlar utan endast "fleck" vid graderingen. Tanken har funnits att plantorna inte inokulerats ordentligt och skall beaktas som "escape" vid gradering. I det fallet borde dock inga fläckar alls finnas synliga, vilket det gjorde. Frågan är alltså om det finns resistensgener i Makuru mot våra isolat och de rostraser vi har här i Sverige.

Vi kan inte med säkerhet säga att det finns resistensgener i de använda differentiallinjerna. Metoden som använts vid denna studie kan eventuellt revideras. Temperaturerna kanske kan optimeras ytterligare, den höga luftfuktigheten kanske inte varar tillräckligt länge efter inokuleringen, appliceringen av sporer på differentiallinjerna kanske kan effektiviseras och ljusförhållandena kan förbättras. Det kan också vara så att ytterligare omgångar med uppodlade sporer hade möjliggjort identifiering av fler raser.

5.6 Utrotning av berberis

Vi kommer troligtvis ställas inför nya epidemier av *P. graminis* f. sp. *tritici* då spridningen av rasen TTKS, även kallad Ug99 är ett faktum. Enligt spridningsmodellerna är spridning genom Europa med de sydostliga vindarna den mest potentiella spridningsvägen upp till våra nordliga breddgrader. Svartrosten som härjade i Sverige och Skandinavien år 1951 spreds via vindarna långväga ifrån. Forskning från CDL, Cereal Disease Laboratory, i Minnesota, USA visar att Ug99 trivs mycket bra i norra halvklotets kalla klimat (Rouse & Jin, 2009). Jag anser att berberisen kommer att spela en viktig roll vid bekämpning av Ug99 eller andra nya raser i Sverige när de kommer hit och att ett utrotningsarbete bör övervägas. Detta för att minska de svåra ekonomiska förluster som annars riskeras. Berberisen i sig har inget ekonomiskt värde för lantbrukaren och utrotning av den kan därför ge betydande resultat och vara ett säkerställande för minskad spridning och etablering av svartrost.

Ett sätt att inte erbjuda rosten en värdväxt är att odla resistent sorter. De vetesorter vi använder i Sverige idag är resistent mot förekommande raser av *P. graminis* f. sp. *tritici*. Nya raser av patogenen utvecklas däremot hela tiden, där Ug99 är ett exempel, som är virulent även på våra resistent vetesorter. Utveckling av nya resistent vetesorter är ett otroligt viktigt arbete. Svartrosten har dock en komplex livscykel som vid fullföljande ger upphov till ett konstant genutbyte mellan svampindivider, som enligt Mac Key (1952) resulterar i ett växtförädlingsproblem. Resistensförädlingsarbetet måste vara en fortskridande process. Detta för att svampen genom korsbefruktnings fortfarande kan behålla enskilda arvsfaktorer även om selektering sker av arvsmaterialet med hjälp av resistensgener hos vetet. Att praktisera resistensförädling utan utrotning av berberisbusken blir alltså endast en fortgående strid. Om däremot resistensförädlingen kombineras med utrotning av den sexuella värden förs en "högeffektiv krigsföring" (Mac Key, 1952). Mac Key menar vidare att resistensförädlingens arbete riskerar att stå och falla med berberisbuskens existens och att det vore mer rationellt att utrota busken från början. Det naturliga genutbyte som sker på berberisbusken kan vid förekomst av Ug99 resultera i en etablering och spridning av rasens aggressiva gener. Nya svåra epidemier av denna aggressiva variant kan ge förödande konsekvenser för spannmålsproduktionen.

Vid tidpunkten för berberislagens avskaffande år 1994 fanns i princip ingen svartrost i vete. Svartrosten förekom endast i liten omfattning i havre och råg och ansågs inte vara något problem. Vid upphävandet av berberislagen hänvisades bekämpning av svartrost till växtskyddslagen som innebär bekämpning med fungicider direkt i fält. Berberisbusken ansågs då inte bidra till nämnvärd spridning av svartrost jämfört med den spridning av sporer som kommer via vindar från kontinenten. Konsulentavdelningen/växtskydd på SLU menade att den prognos- och varningsverksamhet som höll på att byggas upp skulle kunna förutspå epidemier på ett tidigt stadium och att bekämpning direkt i fält skulle vara tillräcklig. Det problem som nu kan konstateras är att svartrostangrepp uppträder mycket sent i fält, när lantbrukaren sällan är där och att angreppen även är svåra att förutspå då de ofta inte upptäcks i prognosrutorna. Även i det avseendet borde betydelsen av berberisbusken som närliggande spridningskälla beaktas.

Kemiska preparat har i dagsläget goda effekter även mot Ug99, men frekvent och oaksam användning av dessa leder ofta till utveckling av resistens hos svampen. Genom att utrota berberisbusken kan användningen av kemiska preparat minskas liksom fungicidresistensrisken hos svampen. De preparat som finns på marknaden i Sverige idag har redan använts flitigt vid bekämpning mot gulrost. Om det har någon betydelse för användning mot en eventuell svartrostepidemi vet vi inte. Att utrota mellanvärderna stöds även av EU:s ”Direktiv om hållbar hantering av bekämpningsmedel” som menar att vi måste arbeta mer med integrerat växtskydd för att minska den kemiska bekämpningen till fördel ”för människors hälsa och miljö” (Jordbruksverket, 2010).

5.7 Inför framtiden

Resultaten från denna studie visar att det vore motiverat att lägga ut fler riktade rostförsök med sena behandlingar för att bekräfta de resultat som kommit fram här.

I havresortförsök borde hänsyn tas till svartrost, dels genom regelrätta graderingar och dels genom senare fungicidbehandlingar i de block som behandlas. Fler upprepningar krävs för att kunna göra säkrare statistiska beräkningar.

Sporfällor kan vara ett alternativ för prognos då sporer transporteras långa sträckor. Tillgängligheten av sporer och värdväxter är enligt mina studier avgörande faktorer för spridning av svartrosten, då mikroklimatet i princip alltid är gynnsamt.

Med avseende på berberisbuskens roll vid spridning och etablering av svartrost i fält och betydelsen för spridning av det genetiska material som finns i Ug99 borde fler nya studier kring berberisbusken som mellanvärd göras. Detta för säkerställande och utvärdering av de gamla studier som finns.

Differentiallinjerna från USA skall säs i fält i Sverige sommaren 2010 för att studera om angrepp är möjliga här. Om så är fallet kanske appliceringsmetoden vid inokulering bör revideras. Om inga eller mycket små angrepp kan konstatera bör genmaterialet i dessa studeras närmre för att se om de innehåller okända resistensgener. Det skulle också visa om det krävs andra differentiallinjer i Sverige för att göra en rasidentifiering och -inventering.

6. Sammanfattning

Svartrost i havre i Sverige utvecklas mycket snabbt. Genomsnittsvärdet för utvecklingshastigheten (r) för ökningen av antalet angripna plantor var 0,41 och för andelen angripen stråyta var det 0,27. Trots att de första angreppen noteras sent på säsongen, ofta i slutet på juli, kan angrepp leda till betydande skördeförluster. En hög utvecklingshastighet innebär att en bekämpning med fungicid måste göras innan skadan blivit för stor.

Tidpunkten för behandling med fungicider i fält är viktig för att få en så bra effekt som möjligt. Resultaten visar att en sen behandling ger störst merskörd. Att behandla i förebyggande syfte ger sämre effekter och därmed sämre lönsamhet. Det är viktigt att notera när svartrostangrepp uppträder i fält. Kontinuerliga kontroller krävs för att upptäcka när det första angreppet kommer för att man ska få en så lönsam och effektiv bekämpning som möjligt. Detta borde göras både av lantbrukaren själv och vid jordbruksverkets prognos och varningsverksamhet och av växtodlingsrådgivningen.

Tendenser till skillnader i mottaglighet mellan havresorter finns, dock utan statistisk säkerhet. Försöksuppläggning och genomförande av sortförsöken kan diskuteras utifrån svartrostsypunkt.

Mätningar av mikroklimat är inte en tillförlitlig metod för att ställa prognos om angreppstidpunkt och risk för epidemi av svartrost. Förutsättningarna för groning och utveckling av sporer enligt temperatur och luftfuktighetsmätningar har varit gynnsamma under hela växtsäsongen. Det visar att angrepp huvudsakligen styrs av förekomst av mottaglig värd i kombination med patogenen.

Rasidentifiering av de svenska svartrostraserna var mycket svår att genomföra, då genmaterialet i differentiallylinjerna troligtvis innehöll okända resistensgener som är effektiva mot vårt svenska rasspektrum. Endast ett fåtal, mycket svaga raser för *P. graminis* f. sp. *avenae* har identifierats.

Då nya varianter av *P. graminis*, som till exempel Ug99, uppträder i Sverige bör berberisbuskens roll för spridning och utveckling av svartrost beaktas. Berberis har tidigare ansetts ha en betydande roll i detta sammanhang. En förebyggande åtgärd kan således vara att utrota berberisbusken och på så sätt förhindra svartrostens spridning. Användningen av fungicider kan på så sätt eventuellt minskas, då integrerat växtskydd tillämpas.

Tack

Jag vill först och främst tacka Peder Wærn och Magnus Sandström på Växtskyddscentralen i Uppsala som initierade detta examensarbete, gett mig stöd och många goda råd under arbetets gång. De har också gjort det möjligt för mig att genomföra stora delar av det praktiska arbete som gjorts i fält.

Jag vill också rikta ett stort tack till Annika Djurle och Anna Berlin som varit mina handledare vid SLU och alltid svarat på mina envisa frågor och hjälpt mig att arbeta vidare framåt. Jag önskar Anna, som är doktorand, lycka till med sitt fortsatta arbete med svartrost. Jag ser verkligen fram emot att följa fortsättningen.

Utöver det passar jag på att tacka Hans Brimert vid Hushållningssällskapets försöksstation i Fransåker, Anders Ericsson försöksledare på Hushållningssällskapet i Västerås och Staffan Larsson, SLU.

Sist men inte minst mina nära och kära, Tack!

Referenser

- Agrios, G.N. (2005) *Plant pathology*, 5 Ed. San Diego. Elsevier academic press.
- Aylor, D. E. (2003) Spread of plant disease on a continental scale: Role of aerial dispersal of pathogens. *Ecology* 84(8): 1989-1997.
- Blumer, S. (1963) *Rost- Und Brandpilze Auf Kulturpflanzen*. Jena. VEB Gustav Fischer Verlag.
- Brown, J.K.M. & Hovmøller, M. (2002) Aerial Dispersal of Pathogens on the Global and Continental Scales and its Impact on Plant Disease. *Science* 297: 537-541.
- Djurberg, A. (2007) Försöksrapport 2007 För Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk raps. Rostbekämpning i havre, s 207-208. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN: 91-88668-62-2
- Fetch, T. G. (2006) Effect of temperature on the expression of seedling resistance to *Puccinia graminis* f. sp. *avenae* in oat. *Plant Pathology* 28: 558-565
- Fetch, T. G., Johnston, P. & Pickering, R. (2009) Chromosomal Location and Inheritance of Stem Rust Resistance Transferred from *Hordeum bulbosum* into Cultivated Barley (*H. vulgare*). *Phytopathology* 99:339-343
- Fetch, T. G. & Jin, Y. (2007) Letter Code System of Nomenclature for *Puccinia graminis* f. sp. *avenae*. *Plant Disease* 91:763-766.
- Fältforsk [online] (2009) Uppsala, SLU. Tillgänglig: www.ffe.slu.se. [09-12-08]
- Andersson, G., Berg, G., Djurberg, A., Ewaldz, T., Gustafsson, G., Lerenius, C., Mellqvist, E., Sandström, M. & Waern, P. (2008) Bekämpningsrekommendationer, svampar och insekter 2008. Publikationsservice Jordbruksverket, Jönköping.
- Andersson, G., Berg, G., Djurberg, A., Ewaldz, T., Gustafsson, G., Lerenius, C., Mellqvist, E., Sandström, M. & Waern, P. (2009) Bekämpningsrekommendationer, svampar och insekter 2009. Publikationsservice Jordbruksverket, Jönköping.
- SJV – Jordbruksverket. Hemsida. [online] (2010) Tillgänglig: <http://www.sjv.se/amnesomraden/odling/vaxtskydd/direktivtomhallbaranvandningavbekampningsmedel.4.72e5f95412548d58c2c80002958.html>. [2010-03-03]
- Kolmer, J. A. (2005) Tracking wheat rust on a continental scale. *Plant Biology* 8:441–449.
- Lantbruksstyrelsen (1975) 1975 års berberisutredning.
- Karltorp, M., (1986) Bekämpning av berberis enligt Berberislagen (SFS 1976:451). Lantbruksstyrelsen (315 2043/86) utfärdad 1986-12-08
- Karltorp, M., (1991) Bekämpningen av berberis enligt Berberislagen (SFS 1976:451). Jönköping: Växtskyddsenheten, Lantbruksstyrelsen.(31 594/91) utfärdad 1991-02-20
- Larsson, S., Hagman, J. & Ericson, L. (2008) Stråsäd, Trindsäd, Oljeväxter, Potatis Sortval SLU. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet. ISBN 978-91-85911-31-8

- Leonard, K. J. & Szabo, L. J. (2005) Stem rust of small grains and grasses caused by *Puccinia graminis*. *Molecular plant pathology* 6: 99-111
- Lerenius, C. (2004) Försöksrapport 2004 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk raps. Svampsjukdomar i havre, s 200, 202. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN 91-88668-52-5
- Lerenius, C. (2008) Försöksrapport 2008 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk Raps. Svampbekämpning i havre i slättbyggd, s 182-183. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN 91-88668-64-9
- Loughman, R., Jayasena, K. & Majewski, J. (2005) Yield loss and fungicide control of stem rust of wheat. *Australian journal of agricultural research* 56: 91-96
- Mac Key, J. (1952) Svarttrosten som växtförädlingsproblem. Sveriges utsädesförenings tidsskrift. Sextioandra årgången. 83-100.
- Mellqvist, E. (2005) Försöksrapport 2005 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk Raps. Svampsjukdomar i havre, s 191-194. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN 91-88668-57-6
- Mellqvist, E. (2006) Försöksrapport 2006 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk Raps. Svampsjukdomar i havre, s 195-199. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN 91-88668-59-2.
- Mellqvist, E. & Waern, P. (2010) Försöksrapport 2009 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk Raps. Svampbekämpning i havre, s 189-191. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN 91-88668-66-5.
- Schafer, J. F., Roelfs, A. P. & Bushnell, W. R (1984) Contributions of Early Scientists of Knowledge of Cereal Rusts. In: *The Cereal Rusts*. 3-38. Orlando, Florida. Academic Press, Inc.
- Scherin, H. (1996) On the velocity of epidemic waves in model plant disease epidemics. *Ecological Modelling*. 87: 217-222.
- Singh, R. P., Hodson, D. P., Huerto-Espino, J., Jin, Y., Njau, P., Wanyera, R., Herrera-Foessel, S. A., & Ward, R. W. (2008) Will Stem Rust Destroy The World's Wheat Crop? *Advances of Agronomic* 98:271-309
- Singh, R. P., Hodson, D. P., Jin, Y., Huerta-Espino, J., Kinyua, M. G., Wanyera, R., Njau, P. & Ward, R. W. (2006) Current status, likely migration and strategies to mitigate the threat to wheat production from race Ug99 (TTKS) of stem rust pathogen. CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources [online] No. 054: 1-13. Tillgänglig: <http://www.cababstractsplus.org/cabreviews>
- Regeringskansliet (1994) Regeringens proposition 1993/94:108 [online] Tillgänglig: http://www.riksdagen.se/webbnav/?nid=37&doktyp=prop&dok_id=GH03108&rm=1993/94&bet=108 [2010-04-16]
- Roelfs, A. P., Singh, R. P. & Saari, E. E (1992) Rust Diseases of Wheat: Concepts and Methods of Disease Management. Mexico, D.F.: CIMMYT. 81 pages.
- Roland, J. (2008) Försöksrapport 2008 för Mellansvenska försökssamarbetet och Svensk Raps. Havre, s 129-134. Hushållningssällskapens Multimedia. ISBN 91-88668-64-9

Rouse, M. & Jin, Y. (2009) Aggressiveness of races TTKSK and QFCSC of *Puccinia graminis* f. sp. *tritici* at various temperatures. 12th International cereal rusts powdery mildews conference. Antalya, Oct 13-16 2009. Vol 1: 18.

Vanderplank, J. E. (1963) *Plant diseases: Epidemics and control*. London. Academic Press, inc.

Viljanen-Rollinson, S. L. H., Parr, E. L. & Marroni M.V. (2007) Monitoring long-distance spore dispersal by wind – a review. *New Zealand Plant Protection* 60: 291-296.

Wanyera, R., Macharia, J. K., Kilonzo, S. M. & Kamundia, J. W. (2009) Foliar Fungicides to control Wheat Stem Rust, Race TTKS (Ug99), in Kenya. *Plant Disease* 93:929-932

Wingen, L. U., Brown, J. K. M. & Shaw, M. W. (2007) The Population Genetic Structure of Clonal Organisms Generated by Exponentially Bounded and Fat-Tailed Dispersal. *Genetics Society of America* 177: 435-448

Zadoks, J. C. (1985) Cereal rusts, dogs and stars in Antiquity. *Cereal Rusts Bulletin Vol 13, Part 1: 1-10*.

Zadoks J. C., Chang, T. T. & Konzak, C. F. (1974) A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research* 14: 415-421

Åkerman, Å. (1952) Inledning och kort sammanfattning av äldre iakttagelser. Sveriges utsädesförenings tidskrift. Sextioandra årgången. 76-82.

Åkerman, Å. & Mac Key, J. (1952) Svartrostresistens hos det svenska vetesortimentet bedömd efter 1951 års erfarenheter. Sveriges utsädesförenings tidskrift. Sextioandra årgången. 146-149.

Personliga meddelanden

Larsson, S. *Försöksledare sortprovning, SLU*. Telefon. 2010-01-15

Lyckman, J. *Konsulent rådgivning, SW Seed*. Telefon. 2008-07-17